PARTIE I : MODULE TASPLAQ

I.1. INTRODUCTION ***7***

I.2. ASPECTS THEORIQUES ***8***

I.2.1. Notions préliminaires 8
I.2.1.1. Modélisation d'une plaque en éléments finis 8
I.2.1.2. Généralisation du modèle de Boussinesq 8

I.2.2. Formulation 9
I.2.2.1. Principe général de la méthode 9
I.2.2.2. Modélisation de la plaque 10
I.2.2.3. Modélisation de l'interaction Sol / Plaque 12
I.2.2.4. Modélisation du sol support 13
I.2.2.5. Formulation du problème et résultats 14

I.2.3. Traitement de certains cas particuliers 14
I.2.3.1. Décollement de la plaque 14
I.2.3.2. Limitation de la réaction du sol 15
I.2.3.3. Prise en compte d'une charge extérieure appliquée au sol 15
I.2.3.4. Prise en compte d'une contrainte initiale dans le sol 16

I.2.4. Prise en compte des symétries 16
I.2.4.1. Cas d'une symétrie par rapport à un ou deux plans 16
I.2.4.2. Axisymétrie (ou symétrie par rapport à un axe) 17
I.2.4.3. Déformations planes 18

I.2.5. Limites de validité 19
I.2.5.1. Validité du modèle de Kirchhoff 19
I.2.5.2. Validité du modèle de Boussinesq 19
I.2.5.3. Cas particulier d'une couche de forme en surface 19

I.3. MANUEL D'UTILISATION 20

I.3.1. Notations et unités 20
I.3.1.1. Notations et conventions de signe 20
I.3.1.2. Unités 20

I.3.2. Onglet "Paramètres" 21
I.3.2.1. Cadre "Mode général" 21
I.3.2.2. Cadre "Cadre de travail" 21
I.3.2.3. Cadre "Interface plaque/support" 22
I.3.2.4. Cadre "Paramètres avancés" 23

I.3.3. Onglet "Couches" 24
I.3.3.1. Cadre "Définition des couches de sol" 24
I.3.3.2. Cadre "Charges extérieures sur le sol" 25

I.3.4. Onglet "Maillage" 33
I.3.4.1. Maillage selon (Ox) 33
I.3.4.2. Maillage selon (Oy) 34
I.3.5. Onglet "Désactivation" 35
I.3.5.1. Définition des zones désactivées 35
I.3.5.2. Assistant "Maillage" 36
I.3.5.3. Assistant "Polygones" 37
I.3.6. Onglet "Plaque" 38
I.3.6.1. Définition des propriétés de la plaque 38
I.3.6.2. Assistants "Maillage" et "Polygones" 39
I.3.6.3. Assistant "Paramètres équivalents d'une section mixte" 39
I.3.7. Onglet "Charges réparties" 41
I.3.7.1. Charges réparties dans le cas de projets 3D 41
I.3.7.2. Charges réparties dans le cas de projets 2D 42
I.3.7.3. Assistants 43
I.3.8. Onglet "Charges linéiques" 43
I.3.8.1. Charges et raideurs linéiques dans le cas de projets 3D 43
I.3.8.2. Assistant maillage (selon Ox) 44
I.3.8.3. Assistant "Polygones" 44
I.3.8.4. Assistant maillage (selon Oy) 44
I.3.8.5. Charges et raideurs linéiques dans le cas de projets 2D 46
I.3.9. Onglet "Charges ponctuelles" 47
I.3.9.1. Assistants "Maillage" 48
I.3.9.2. Assistant "Polygones" 48
I.3.10. Onglet "Décollement/Plastification" 49
I.3.11. Calcul et résultats 51
I.3.11.1. Calcul 51
I.3.11.2. Résultats disponibles pour les projets 3D 52
I.3.11.3. Résultats disponibles pour les projets 2D 63
I.3.11.4. Assistant externe d'exportation vers Tasseldo 67
I.4. EXEMPLES DE CALCUL TASPLAQ 68
I.4.1. Exemple 1 : Dalle sur appuis rigides 68
I.4.1.1. Etape 1 : Dalle appuyée sur deux côtés opposés 68
I.4.1.2. Calcul et Résultats 77
I.4.1.3. Etape 2 : Plaque appuyée sur quatre côtés 82
I.4.1.4. Calcul et Résultats 83
I.4.1.5. Comparaison des résultats 84
I.4.2. Exemple 2 : Radiers sous chargements localisés 87
I.4.2.1. Etape 1 : Radier isolé 87
I.4.2.2. Calcul et Résultats 94
I.4.2.3. Etape 2 : Deux radiers identiques voisins 102
I.4.2.4. Calcul et Résultats 105
I.4.3. Exemple 3 : Dallage avec différents systèmes de joints 109
I.4.3.1. Etape 1 : Dallage continu sur sol multicouche élastique 109
I.4.3.2. Calcul et résultats 115
I.4.3.3. Etape 2 : Dallage avec joints partiels sur sol multicouche élastique 120
I.4.3.4. Etape 3 : Dallage avec joints francs sur sol multicouche élastique 126
I.4.3.5. Comparaison des trois situations étudiées 129

I.4.4. Exemple 4 : Radier en L sous chargement linéique et interaction avec un remblai 132
I.4.4.1. Etape 1 : Radier en L sous chargement linéique 132
I.4.4.2. Saisie des données 133
I.4.4.3. Calcul et Résultats 138
I.4.4.4. Etape 2 : Influence d'un remblai voisin 140
I.4.5. Exemple 5 : Calcul de tassements sous un réservoir circulaire 143
I.4.5.1. Phase de construction du réservoir 144
I.4.5.2. Résultats graphiques - Coupes 148
I.4.5.3. Phase "hydrotest" 151
I.4.6. Exemple 6 : Poutre de roulement et calage du coefficient de réaction 155
I.4.6.1. Etape 1 : Semelle chargée localement avec prise en compte du poids propre 155
I.4.6.2. Résultats 159
I.4.6.3. Etape 2 : Semelle chargée localement – Définition du coefficient de réaction équivalent 165
I.4.7. Exemple 7 : Calcul d'une fondation en déformations planes 168
I.4.7.1. Onglet "Paramètres" 168
I.4.7.2. Onglet "Couches" 169
I.4.7.3. Onglet "Maillage" 169
I.4.7.4. Onglet "Désactivation" 170
I.4.7.5. Onglet "Plaque" 170
I.4.7.6. Onglet "Charges Réparties" 171
I.4.7.7. Onglet "Charges linéiques" 171
I.4.7.8. Résultats graphiques - Coupes 172

TABLE DES FIGURES

Figure I.1 : Schéma du problème 7
Figure I.2 : Application de la formule de Steinbrenner 9
Figure I.3 : Principe de la méthode, éléments du système 10
Figure I.4 : Modélisation de la plaque en éléments finis 10
Figure I.5 : Modélisation des trous 11
Figure I.6 : Modélisation d'une forme polygonale 11
Figure I.7 : Simulation de joints francs 11
Figure I.8 : Modélisation de plusieurs plaques désolidarisées 11
Figure I.9 : Equilibre de la plaque 12
Figure I.10 : Distribution de la réaction du sol sous la plaque 13
Figure I.11 : Décollement de la plaque - Exemple 15
Figure I.12 : Prise en compte d'une charge extérieure s'appliquant directement au sol 16
Figure I.13 : Prise en compte d'une contrainte initiale en surface - Exemple 16
Figure I.14 : Schématisation de la condition de symétrie par rapport à un plan 17
Figure I.15 : Modèle de Kirchhoff pour les plaques circulaires avec des éléments "annulaires" à 2 nœuds et 4 degrés de liberté 17
Figure I.16 : Discrétisation en éléments de poutre à 2 nœuds et 4 degrés de liberté 18
Figure I.17 : Onglet "Paramètres" 21
Figure I.18 : Figure d'aide à la définition des coordonnées de la plaque 22
Figure I.19 : Figure d'aide au choix de la symétrie 22
Figure I.20 : Onglet "Couches" : cas d'un modèle 3D 24
Figure I.21 : Disposition globale du problème {Plaque + Sol + Charges ext.} 25
Figure I.22 : Figure d'aide pour la définition des charges extérieures en 3D 26
Figure I.23 : Figure d'aide pour la définition des charges extérieures dans le cas d'un projet 2D en déformations planes 26
Figure I.24 : Figure d'aide pour la définition des charges extérieures dans le cas d'un projet 2D axisymétrique 26
Figure I.25 : Exemples de visualisation d'une charge extérieure sur le sol 27
Figure I.26 : Chargements automatiques (assistants) 28
Figure I.27 : Assistant : "Chargement circulaire uniforme" 29
Figure I.28 : Onglet "Couches" - Charges extérieures – Après assistant "Chargement circulaire uniforme" 29
Figure I.29 : Assistant : "Chargement annulaire uniforme" 30
Figure I.30 : Onglet "Couches" - Charges extérieures - Après assistant "Chargement annulaire uniforme" 30
Figure I.31 : Exemple de chargement de type Talus 3D 31
Figure I.32 : Assistant : "Chargement type talus 3D" 31
Figure I.33 : Onglet "Couches - Charges extérieures – Après assistant "Chargement de type talus 3D" 32
Figure I.34 : Assistant de charges pour Tasplaq – Exemple de modification du groupe n°1 33
Figure I.35 : Onglet "Maillage" pour un projet en 3D 33
Figure I.36 : Maillage selon (Ox) - Principes de modélisation 34
Figure I.37 : Maillage selon (Oy) - Principes de modélisation 34
Figure I.38 : Onglet "Désactivation" 35
Figure I.39 : Assistant "Maillage" pour l'onglet Désactivation 36
Figure I.40 : Assistant "Polygones" 37
Figure I.41 : Représentation graphique d'un polygone 38
Figure I.42 : Onglet "Plaque" 38
Figure I.43 : Assistant : Paramètres équivalents d'une section mixte 40
Figure I.44 : Onglet "Charges réparties" - projets 3D 41
Figure I.45 : Onglet "Charges réparties" - projets 2D 42

Figure I.46 : Onglet "Charges linéiques" - Projet 3D 43
Figure I.47 : Assistant Maillage pour les charges linéiques selon Ox 44
Figure I.48 : Assistant Maillage pour les charges linéiques selon Oy 45
Figure I.49 : Onglet "Charges linéiques" - Projet 2D 46
Figure I.50 : Onglet "Charges ponctuelles" 47
Figure I.51 : Assistant "Maillage" pour les charges ponctuelles 48
Figure I.52 : Cas d'une plaque partiellement appuyée sur le sol 49
Figure I.53 : Onglet "Décollement/plastification" 50
Figure I.54 : Fenêtre de calcul en cours/terminé 51
Figure I.55 : Fenêtre des résultats – Projet 3D 52
Figure I.56 : Résultats numériques formatés – Projet 3D 53
Figure I.57 : Résultats numériques formatés : Réaction dans les appuis surfaciques 54
Figure I.58 : Résultats numériques : Tableau de résultats 55
Figure I.59 : Coupe graphique – Projet 3D – Flèche de la plaque – Exemple de coupe suivant x 57
Figure I.60 : Coupe graphique – Projet 3D – Tassement du sol – Exemple de coupe suivant y 57
Figure I.61 : Coupe graphique – Projet 3D – Réaction du sol – Exemple de coupe suivant x 58
Figure I.62 : Nuage de points : Modifier les bornes du dégradé 58
Figure I.63 : Nuage de points – Projet 3D – Moment M_x 59
Figure I.64 : Nuage de points – Projet 3D – Tassement du sol 59
Figure I.65 : Graphique 3D – Flèche de la plaque 60
Figure I.66 : Graphique 3D – Moment M_x 60
Figure I.67 : Assistant de déshomogénéisation des données 61
Figure I.68 : Assistant de déshomogénéisation des données : résultats 62
Figure I.69 : Fenêtre des résultats – Projet 2D 63
Figure I.70 : Résultats numériques formatés – Exemple pour un projet 2D en déformations planes 63
Figure I.71 : Résultats numériques : Tableau des résultats – Projets 2D en déformations planes 64
Figure I.72 : Résultats numériques : Tableau des résultats – Projets 2D axisymétriques 65
Figure I.73 : Coupe graphique : exemple de projet 2D axisymétrique - Flèche de la plaque/tassement du sol 66
Figure I.74 : Coupe graphique : exemple de projet 2D en déformations planes - Moment M_x 66

TABLE DES TABLEAUX

Tableau I.1 : Notations et conventions de signe 20
Tableau I.2 : Unités 20
Tableau I.3 : Onglet "Paramètres" : Cadre "Cadre de travail" 22
Tableau I.4 : Onglet "Paramètres" : Cadre "Interface plaque/support" 23
Tableau I.5 : Onglet "Paramètres" : Cadre "Paramètres avancés" 24
Tableau I.6 : Paramètres des couches de sol 24
Tableau I.7 : Définition de la contrainte initiale en surface 25
Tableau I.8 : Paramètres pour la définition des charges extérieures sur le sol dans le cas d'un modèle 3D 27
Tableau I.9 : Paramètres pour la définition des charges extérieures sur le sol dans le cas d'un modèle 2D 27
Tableau I.10 : Paramètres pour l'assistant "Chargement circulaire uniforme" 28
Tableau I.11 : Paramètres pour l'assistant "Chargement annulaire uniforme" 30
Tableau I.12 : Paramètres pour l'assistant "Chargement de type Talus 3D" 32
Tableau I.13 : Paramètres du maillage selon (Ox) 33
Tableau I.14 : Paramètres du maillage selon (Oy) 35
Tableau I.15 : Paramètres de désactivation 36
Tableau I.16 : Définition des caractéristiques mécaniques de la plaque 39
Tableau I.17 : Paramètres de l'assistant "Section mixte" 40
Tableau I.18 : Paramètres pour les charges réparties en 3D 41
Tableau I.19 : Paramètres pour les charges réparties en 2D 42
Tableau I.20 : Paramètres pour les charges linéiques en 3D 45
Tableau I.21 : Paramètres pour les charges linéiques en 2D 46
Tableau I.22 : Paramètres pour les charges ponctuelles 47
Tableau I.23 : Paramètres de gestion manuelle du décollement/plastification des nœuds 50
Tableau I.24 : Détail des résultats numériques (tassement et réaction aux nœuds) 55
Tableau I.25 : Détail des résultats numériques (flèche de la plaque) 56
Tableau I.26 : Détail des résultats numériques (moment fléchissant) 56
Tableau I.27 : Assistant de déshomogénéisation : cadre "Couche inférieure" 61
Tableau I.28 : Détail des résultats numériques relatifs à la plaque (projets 2D) 65
Tableau I.29 : Détail des résultats numériques - Tassement et réaction du sol (projets 2D) 65
Tableau I.30 : Détail des résultats numériques - Moments fléchissants (projets 2D en déformations planes) 65
Tableau I.31 : Détail des résultats numériques - Moments fléchissants (projets 2D axisymétriques) 65

I.1. Introduction

La méthode TASPLAQ permet de modéliser en trois dimensions, de manière simplifiée, le cas d'une plaque sur sol support élastique.

La plaque, de comportement élastique linéaire, est représentative d'un élément de fondation étendu, de type radier ou dallage, d'inertie et géométrie quelconques et soumis à l'application de chargement hétérogène : charges réparties, charges ponctuelles, moments…

Le support de la plaque est supposé de comportement initial élastique. Il peut être assimilé soit à un massif multicouche élastique (couches horizontales, caractérisées chacune par un module de Young et un coefficient de Poisson), soit à une distribution de ressorts : surfaciques, linéiques ou ponctuels, en translation ou en rotation. La condition de contact "support / plaque" autorise le décollement/plastification en surface suivant un critère défini au préalable.

La mise en œuvre de la méthode permet d'obtenir la flèche de la plaque, le tassement et les réactions en tout point, ainsi que les efforts dans la plaque (moments et efforts tranchants).

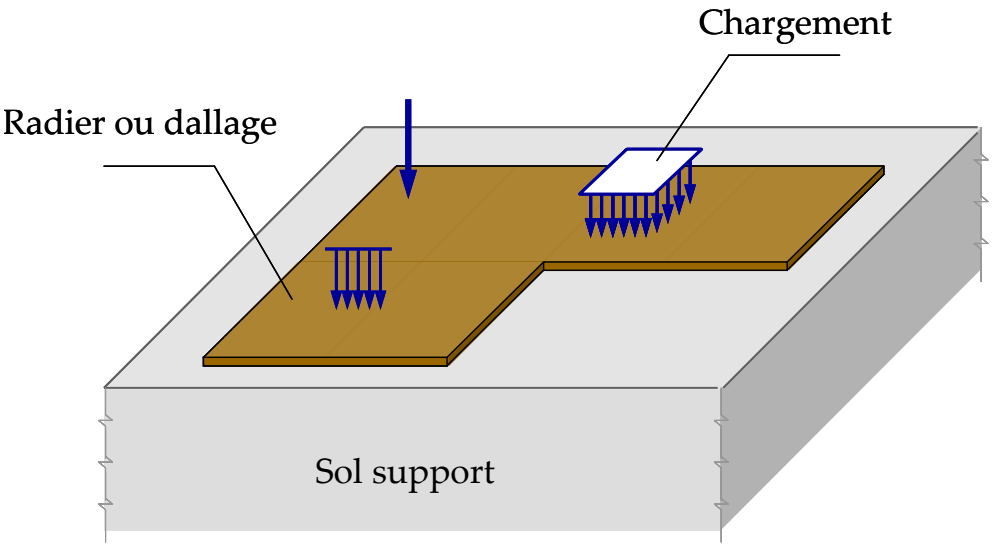


Figure I.1 : Schéma du problème

I.2. Aspects théoriques

I.2.1. Notions préliminaires

I.2.1.1. Modélisation d'une plaque en éléments finis

La plaque est supposée homogène isotrope et travaillant en flexion pure. On se limite au cas des plaques dont l'épaisseur est faible devant les autres dimensions, ce qui nous permet d'adopter la théorie classique des plaques minces et plus exactement "le modèle discret de Kirchhoff". Dans le cadre dudit modèle, seules les déformations dues à la flexion sont prises en compte : la contribution des déformations de cisaillement est négligée.

La plaque est supposée de comportement élastique linéaire, la combinaison des équations d'équilibre et des lois de comportement conduit ainsi à l'équation ci-dessous, dite de Lagrange :

$$\frac{\partial^4 w}{\partial x^4} + 2\frac{\partial^4 w}{\partial x^2 \partial y^2} + \frac{\partial^4 w}{\partial y^4} = q(x,y)\frac{(1-\nu^2)}{EI} \qquad \textbf{(1)}$$

Où w désigne la flèche de la plaque, q la densité de charge appliquée à la plaque, EI le produit d'inertie et ν le coefficient de Poisson.

La résolution de cette équation peut être menée en introduisant une formulation en éléments finis. Nous choisissons un modèle de type "déplacements", avec des éléments rectangulaires à quatre nœuds et 12 degrés de liberté (Zienkiewicz O.C., 1991). Chaque nœud possède ainsi trois degrés de liberté : un déplacement et deux rotations. Ces rotations ne sont autres que les premières dérivées partielles de la flèche (approximation de Kirchhoff).

Il convient de noter que ce modèle est caractérisé par sa simplicité et sa convergence sûre et rapide.

I.2.1.2. Généralisation du modèle de Boussinesq

Le sol est assimilé à un massif multicouche élastique. Certes, tous les géotechniciens savent bien que le sol n'est pas un matériau élastique, mais Terzaghi lui-même admettait que lorsque les contraintes étaient inférieures au tiers des valeurs limites, on pouvait considérer avec une approximation suffisante que le sol avait un comportement élastique.

Le comportement élastique du sol étant admis, on se propose d'utiliser les formules de Boussinesq pour le calcul des tassements en surface. Il convient de rappeler que le modèle de Boussinesq a été établi à la base pour le cas d'un massif semi-infini homogène. Ce modèle nous fournit un profil de contraintes qu'on suppose valable dans le cas d'un multicouche. On admet donc que les distributions des contraintes sont identiques dans les deux cas.

Plusieurs recherches et approches (Burland 1977) ont pu discuter de manière approfondie des conditions de cette simplification, et ont conclu que celle-ci était effectivement acceptable dans la majorité des situations couramment rencontrées par l'ingénieur ; une exception notable est le cas d'une couche raide surmontant des couches plus déformables.

Le calcul des tassements se basera principalement sur la méthode de superposition applicable dans le modèle élastique ainsi que sur la formule de Steinbrenner (calcul élastique 3D également utilisé dans le module Tasseldo de Foxta) qui découle des formules de Boussinesq (Terzaghi, 1943). Cette formule permet d'exprimer le tassement, sous le coin d'une charge rectangulaire uniforme, d'une couche située entre les profondeurs D1 et D2, de module E et de coefficient de Poisson ν :

$$\rho_{D1-D2} = \frac{qB}{E}\left((1-\nu^2)\left(F_1(d_2)-F_1(d_1)\right)+(1-\nu-2\nu^2)\left(F_2(d_2)-F_2(d_1)\right)\right) \qquad \textbf{(2)}$$

Où :

$$\begin{cases} F_1(d) = \dfrac{1}{\pi}\left(l \ln\left(\dfrac{\left(1+\sqrt{l^2+1}\right)\sqrt{l^2+d^2}}{l\left(1+\sqrt{1+d^2+l^2}\right)} \right) + \ln\left(\dfrac{\left(l+\sqrt{l^2+1}\right)\sqrt{1+d^2}}{\left(l+\sqrt{1+d^2+l^2}\right)} \right) \right) \\ F_2(d) = \dfrac{d}{2\pi} \arctan\left(\dfrac{l}{d\sqrt{1+d^2+l^2}} \right) \qquad \text{avec} \quad d = \dfrac{D}{B} \text{ et } l = \dfrac{L}{B} \end{cases} \quad \textbf{(3)}$$

En additionnant les tassements produits dans chaque couche, et en combinant avec la méthode de superposition algébrique, on évalue le tassement, induit par une ou plusieurs charges rectangulaires, en tout point de la surface d'un multicouche élastique.

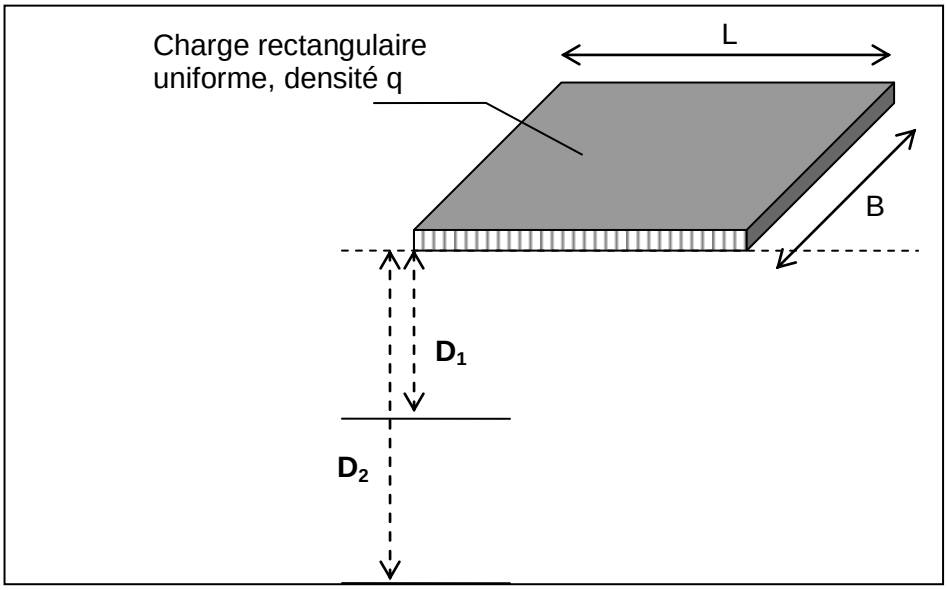


Figure I.2 : Application de la formule de Steinbrenner

I.2.2. Formulation

Le problème qu'on se propose de traiter comporte trois inconnues : le déplacement vertical de la plaque, le tassement et la réaction du sol. L'équation de Lagrange (1) permet de relier le déplacement de la plaque à la réaction du sol, ensuite une deuxième relation est obtenue en écrivant l'égalité entre le déplacement vertical de la plaque et le tassement du sol. Enfin, l'application du modèle de Boussinesq permet de relier le tassement à la réaction du sol.

L'introduction d'une discrétisation en éléments finis pour la plaque permet une formulation matricielle simple du problème à résoudre.

I.2.2.1. Principe général de la méthode

La méthode proposée consiste ainsi à établir un couplage entre trois approches :

- une formulation en éléments finis pour la plaque ;
- une discrétisation adaptée au maillage, pour les pressions d'interaction ;
- l'application des formules de Boussinesq pour le calcul des déformations du sol support.

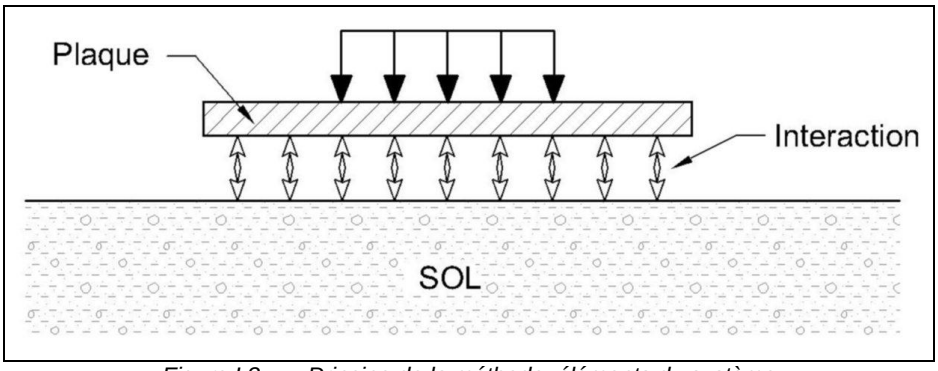


Figure I.3 : Principe de la méthode, éléments du système

Le principe de la méthode consiste à discrétiser la plaque en éléments finis rectangulaires. Si l'on admet que la réaction du sol est uniformément répartie autour de chaque nœud, on peut alors exprimer les tassements aux nœuds en fonction de la réaction du sol à l'aide d'une "matrice d'influence" dont le calcul peut être conduit sur la base des caractéristiques de chaque couche. La formulation finale du problème s'obtient ensuite en écrivant l'égalité, en chaque nœud, entre le tassement du sol et le déplacement vertical de la plaque.
La méthode a été perfectionnée en introduisant des seuils de plastification du sol en surface, des vérifications et la prise en compte automatique de décollement, ainsi que la prise en compte d'une plaque de géométrie quelconque.

I.2.2.2. Modélisation de la plaque

La plaque est discrétisée en éléments finis, à l'aide d'un maillage rectangulaire dont le "pas" peut varier dans les deux directions. Les éléments utilisés sont les éléments rectangulaires de Kirchhoff, présentés précédemment. Chaque élément de plaque est caractérisé par un module d'Young, une épaisseur ainsi qu'un coefficient de Poisson.

Le chargement extérieur appliqué à la plaque est introduit à l'aide de charges réparties verticales (associées à chaque élément) et de charges ponctuelles (effort vertical + deux moments fléchissants), associées à chaque nœud du maillage.

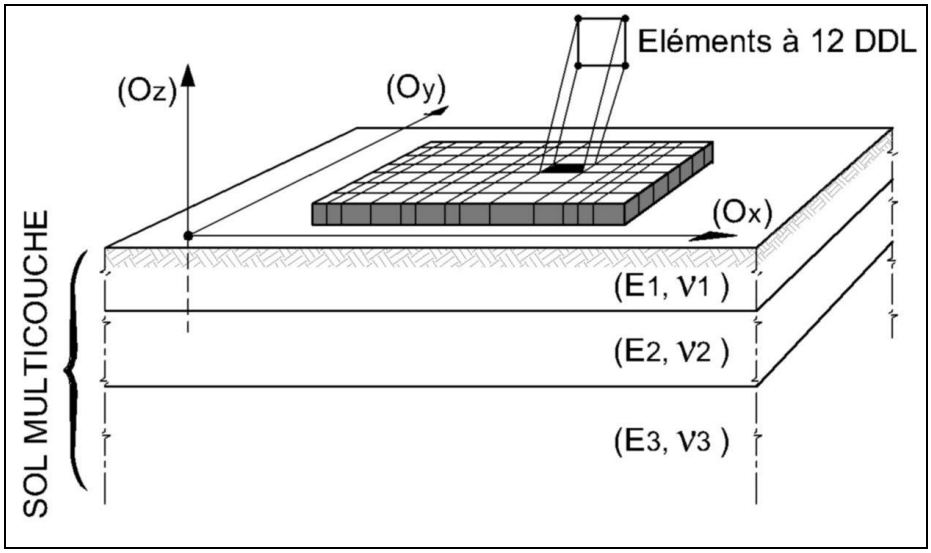


Figure I.4 : Modélisation de la plaque en éléments finis

Une technique de désactivation des éléments de la plaque a également été introduite afin d'étendre le choix de la géométrie pour la plaque.

Quelques exemples de géométries possibles sont donnés sur les figures 5 à 8.

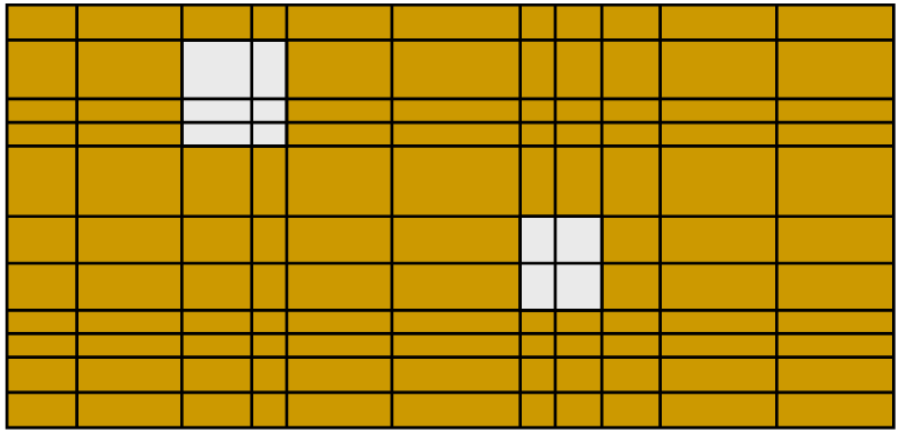


Figure I.5 : Modélisation des trous

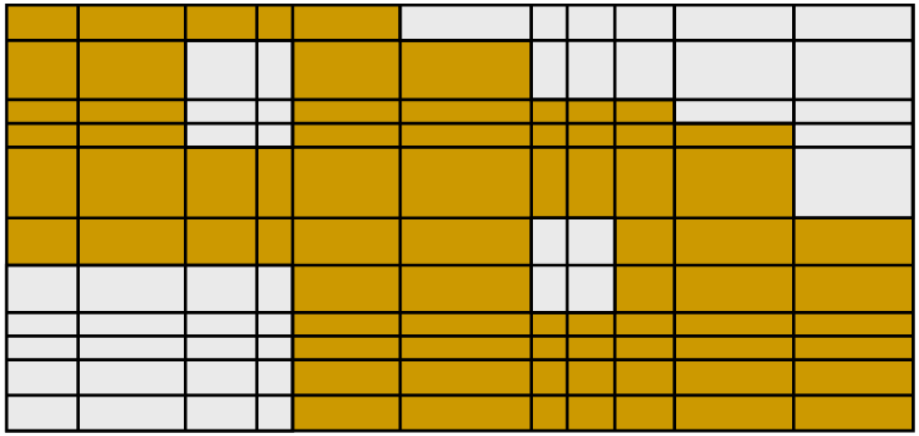


Figure I.6 : Modélisation d'une forme polygonale

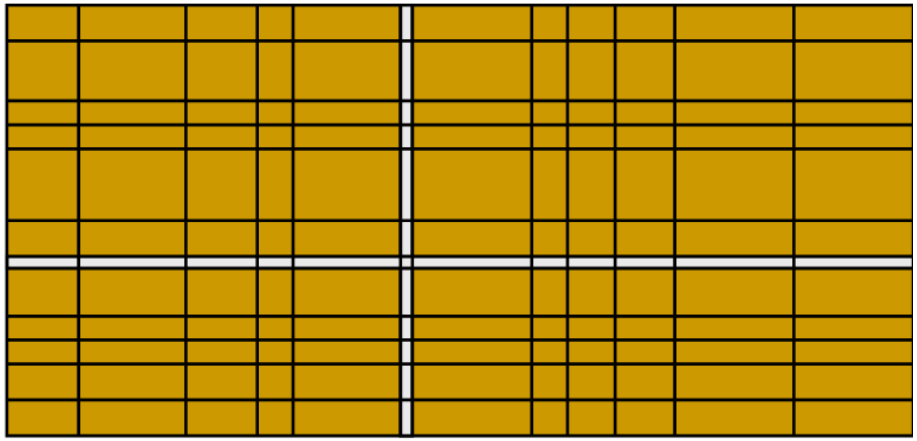


Figure I.7 : Simulation de joints francs

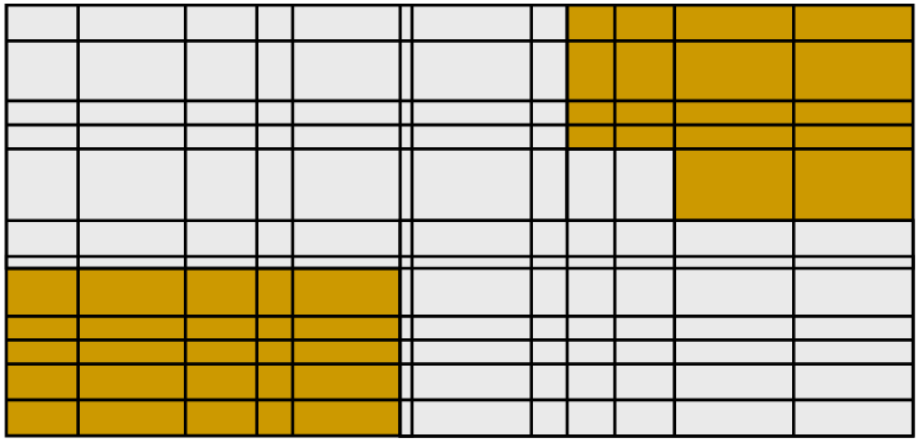


Figure I.8 : Modélisation de plusieurs plaques désolidarisées

Nota : Les éléments désactivés sont représentés en clair et les éléments activés en foncé.

Pour tout ce qui suit, on désigne par "n" le nombre total des nœuds (activés) du maillage. A l'aide de ce maillage, l'équation d'équilibre de la plaque se traduit à l'aide d'un système linéaire :

$$\underline{\underline{\mathbf{K}}}^{e}.\underline{\mathbf{a}}^{e} = \underline{\mathbf{F}}^{e} \qquad \textbf{(4)}$$

- premier membre $\underline{\underline{\mathbf{K}}}^{e}$: matrice de rigidité de la plaque (3n x 3n), constituée par assemblage des matrices de rigidité associées à chaque élément du maillage ;
- second membre $\underline{\mathbf{F}}^{e}$: vecteur chargement équivalent pour la plaque (3n x 1), constitué par assemblage des "vecteurs chargement" élémentaires ;
- inconnue statique $\underline{\mathbf{a}}^{e}$: vecteur déplacement équivalent pour la plaque (3n x 1), constitué par le déplacement et les rotations en chaque nœud.

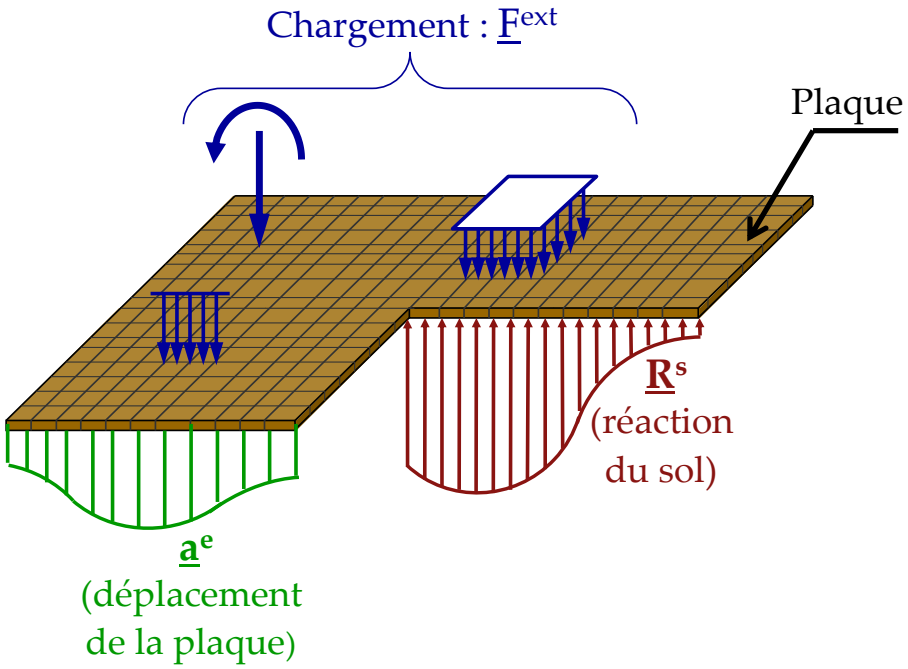


Figure I.9 : Equilibre de la plaque

En examinant les efforts équilibrant la plaque, on peut décomposer le vecteur chargement de la plaque en deux parties : un vecteur chargement relatif aux efforts extérieurs $\underline{\mathbf{F}}^{ext}$, et un vecteur chargement relatif à la réaction du sol $\underline{\mathbf{R}}^{s}$:

$$\underline{\underline{\mathbf{K}}}^{e}.\underline{\mathbf{a}}^{e} = \underline{\mathbf{F}}^{ext} - \underline{\mathbf{R}}^{s} \qquad \textbf{(5)}$$

Le premier est calculé directement à l'aide des charges appliquées sur la plaque. Le deuxième dépend de la rigidité du sol.

Nota : La matrice de rigidité globale de la plaque $\underline{\underline{\mathbf{K}}}^{e}$ tient déjà compte de la présence d'éventuelles raideurs élastiques ponctuelles, linéiques ou réparties sous la plaque. Ceci permettra de simuler certains cas particuliers :

- l'existence d'une zone dure sous la plaque en plus du sol (ex. inclusion rigide, pieu...), traiter le cas d'une fondation mixte… ;
- mener un calcul RDM pur de type « Plaque sur appuis » élastiques ou rigides.

I.2.2.3. Modélisation de l'interaction Sol / Plaque

On se place dans l'hypothèse d'un contact sans frottement : les efforts transmis au sol sont normaux à la plaque.

Par le principe de l'action et de la réaction, la réaction du sol n'est autre que la pression exercée par la plaque sur celui–ci. L'idée de base consiste à supposer que cette pression est uniforme autour de chaque nœud. Plus exactement, elle est uniforme sur un rectangle délimité par les centres des éléments connectés à ce nœud. Il faut bien sûr tenir compte du cas particulier d'un nœud situé sur le bord ou d'un nœud situé en un coin sortant ou rentrant.

Pour une plaque de forme polygonale, la distribution des pressions d'interaction devrait donc avoir la forme schématisée dans la Figure I.10.

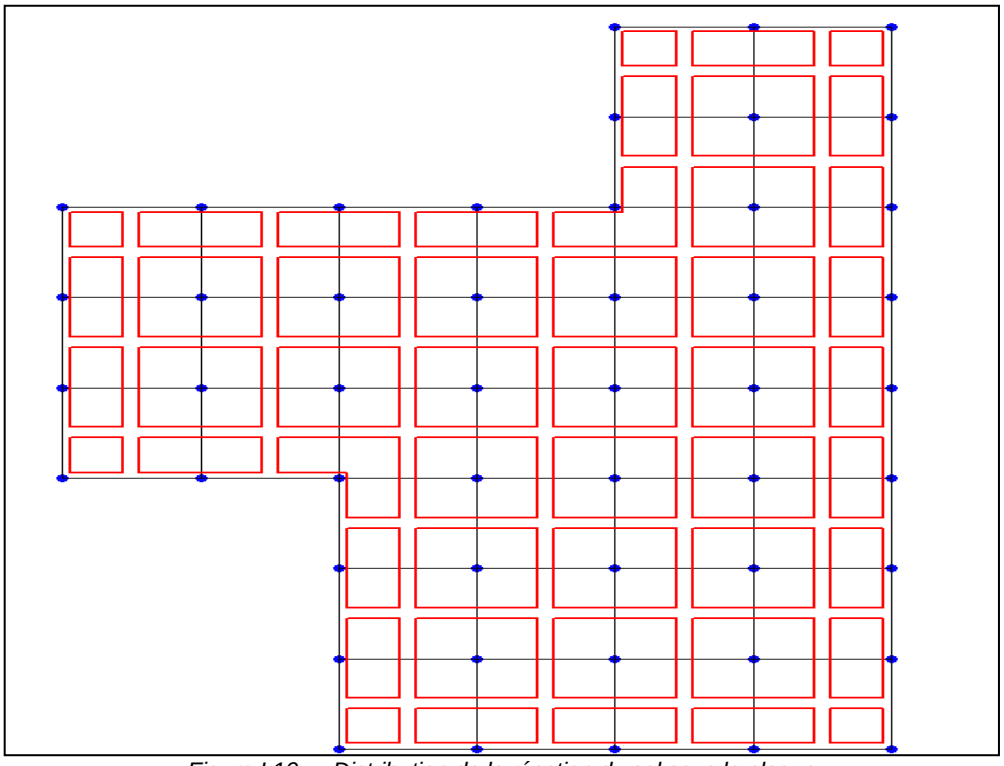


Figure I.10 : Distribution de la réaction du sol sous la plaque

I.2.2.4. Modélisation du sol support

A l'aide du maillage associé à la plaque, on définit ce qu'on appelle la "matrice d'influence", notée $\underline{\underline{\mathbf{T}}}_{\mathbf{inf}}$(n x n), qui permet de relier linéairement les pressions exercées sur le sol aux tassements induits par celles–ci :

$$\begin{pmatrix} s_1 \\ s_2 \\ \vdots \\ \vdots \\ s_n \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \alpha_{11} & \alpha_{12} & \cdots & \alpha_{1n} \\ \alpha_{21} & \alpha_{22} & & \vdots \\ \vdots & & \ddots & \\ \alpha_{n1} & & \cdots & \alpha_{nn} \end{pmatrix} \text{ x } \begin{pmatrix} p_1 \\ p_2 \\ \vdots \\ \vdots \\ p_n \end{pmatrix}$$

tassements matrice d'influence Pressions d'interaction **(6)**

$\underline{\mathbf{S}}$ $\underline{\underline{\mathbf{T}}}_{\mathbf{inf}}$ $\underline{\mathbf{P}}^{s}$

De cette manière, le coefficient d'influence « α_{ij} » est calculé en examinant le tassement induit au nœud "i" par une pression unitaire appliquée autour du nœud "j". Le calcul est conduit à l'aide de la méthode présentée en I.2.1. (formule de Steinbrenner).

I.2.2.5. Formulation du problème et résultats

Reprenons à présent l'équation d'équilibre de la plaque : $\underline{\underline{\mathbf{K}}}^{e}.\underline{\mathbf{a}}^{e} = \underline{\mathbf{F}}^{ext} - \underline{\mathbf{R}}^{s}$. Le terme $\underline{\mathbf{R}}^{s}$ s'exprime linéairement en fonction de a réaction du sol $\underline{\mathbf{P}}^{\mathbf{s}}$. Ensuite, à l'aide de la matrice d'influence, on exprime la réaction du sol en fonction du tassement (6). Enfin, la formulation finale du problème s'obtient en écrivant l'égalité, en chaque nœud, entre le tassement du sol et le déplacement vertical de la plaque :

$$\left(\underline{\underline{\mathbf{K}}}^{e} + \underline{\underline{\mathbf{T}}}^{s}.\left(\underline{\underline{\mathbf{T}}}_{\mathbf{inf}}\right)^{-1}.\underline{\underline{\mathbf{G}}}\right).\underline{\mathbf{a}}^{e} = \underline{\mathbf{F}}^{ext} \qquad \textbf{(7)}$$

Où :

- $\underline{\underline{\mathbf{T}}}^{s}$ est la matrice de passage qui permet d'exprimer $\underline{\mathbf{R}}^{s}$ en fonction de $\underline{\mathbf{P}}^{\mathbf{s}}$.
- $\underline{\underline{\mathbf{G}}}$ est la matrice de passage qui permet de passer de $\underline{\mathbf{S}}$ à $\underline{\mathbf{a}}^{e}$, en écrivant l'égalité en chaque nœud entre le tassement et le déplacement vertical de plaque.

La résolution de ce système permet d'évaluer le vecteur déplacement généralisé et donc les variables nodales associées à chaque élément du maillage. Ceci permet de calculer :

- La flèche w de la plaque en tout point et donc le tassement du sol en tout point $\underline{\mathbf{S}}$.
- La réaction du sol en tout point :

$$\underline{\mathbf{P}}^{\mathbf{s}} = \left(\underline{\underline{\mathbf{T}}}_{\mathbf{inf}}\right)^{-1}.\underline{\mathbf{S}} \qquad \textbf{(8)}$$

- Les moments fléchissants dans la plaque, qu'on peut évaluer à partir du champ de déplacement dans chaque élément :

$$\begin{cases} M_x = \dfrac{EI}{(1-\nu^2)}\left(\dfrac{\partial^2 w}{\partial x^2} + \nu\dfrac{\partial^2 w}{\partial y^2}\right) \\ M_y = \dfrac{EI}{(1-\nu^2)}\left(\dfrac{\partial^2 w}{\partial y^2} + \nu\dfrac{\partial^2 w}{\partial x^2}\right) \\ M_{xy} = 2\dfrac{EI}{(1-\nu^2)}\left(\dfrac{\partial^2 w}{\partial xy}\right) \end{cases} \qquad \textbf{(9)}$$

Il est à préciser que les moments sont calculés uniquement à l'intérieur de chaque élément (aux points d'intégration et non aux nœuds) du fait du caractère "non-conforme" des éléments utilisés qui n'assure pas la continuité des efforts lors du passage d'un élément à un autre.

I.2.3. Traitement de certains cas particuliers

I.2.3.1. Décollement de la plaque

Le calcul précédent est valable dans l'hypothèse où la plaque demeure parfaitement collée au sol. Le sol ne pouvant générer des efforts de traction, l'obtention de réactions négatives nécessite de considérer les nœuds correspondants comme "décollés" (voir figure 11 ci-dessous). Ceci peut se faire à l'aide d'un calcul itératif automatique, moyennant un critère de décollement défini par l'utilisateur.

Ainsi, pour les nœuds déclarés comme "décollés" :

- le déplacement de la plaque n'est plus égal au tassement du sol (voir figure 11 ci-dessous) ;
- la réaction du sol au droit de ces nœuds est nulle.

Dans le cas où la plaque repose sur un massif multicouche élastique, un retraitement adapté de la matrice d'influence (6) permet de tenir compte automatiquement de ces nouvelles conditions.

Le processus de décollement automatique s'applique également dans le cas où la plaque repose sur une distribution de ressorts surfaciques. Dans ce cas, un retraitement adapté de la matrice de rigidité $\underline{\underline{\mathbf{K}}}^e$ consistant à annuler les termes équivalents aux ressorts qui "décollent" permet de tenir compte de ces nouvelles conditions.

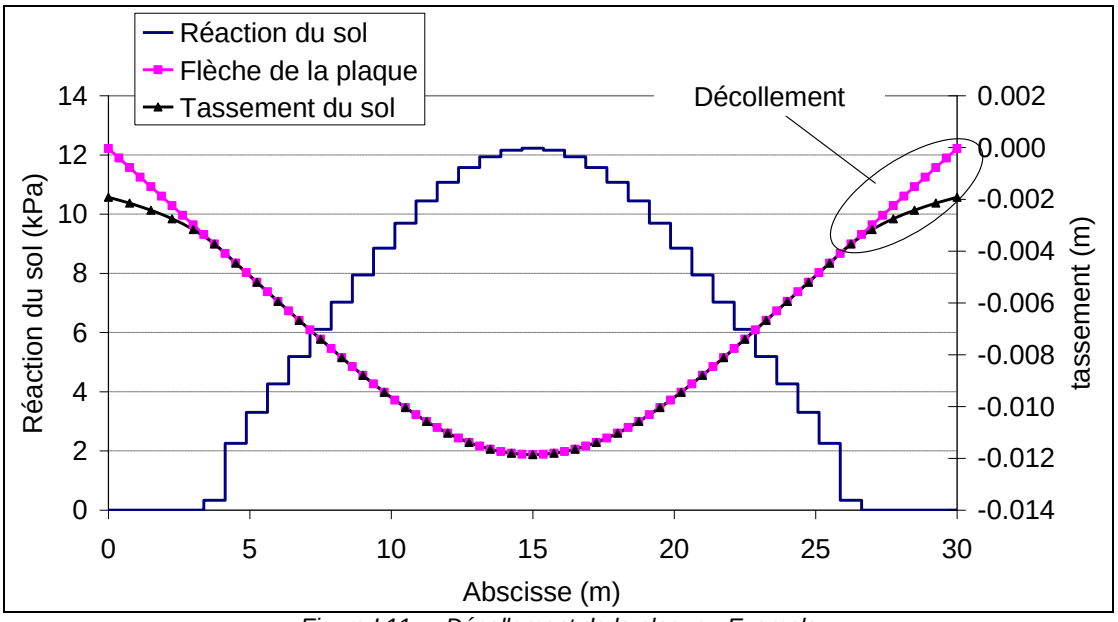


Figure I.11 : Décollement de la plaque - Exemple

I.2.3.2. Limitation de la réaction du sol

Afin d'étendre le modèle au–delà du domaine élastique du sol support, nous avons introduit des critères de limitation locale des pressions à l'interface Sol – Plaque. Ceci peut se faire à l'aide d'un calcul itératif automatique moyennant un critère de "plastification" à l'interface sol-plaque.

Ainsi, au droit des nœuds déclarés comme "plastifiés" :

- le tassement du sol n'est plus élastique, mais il est toujours égal au déplacement vertical de la plaque ;
- la réaction du sol est égale à la pression limite de plastification (indiquée par l'utilisateur).

Ce processus s'applique à la fois sur un support défini comme massif multicouche élastique et sur un support défini comme une distribution de ressorts surfaciques.

I.2.3.3. Prise en compte d'une charge extérieure appliquée au sol

Il s'agit de traiter le cas d'une charge extérieure s'appliquant directement au sol (voir figure 12 ci-dessous). Un cas typique est celui d'un remblai voisin qui vient perturber l'interaction sol plaque. Ceci peut être pris en compte en adaptant la relation (6) :

$$\underline{\mathbf{S}} = \underline{\underline{\mathbf{T}}}_{\mathbf{inf}} \cdot \left(\underline{\mathbf{P}}^{\mathbf{s}} \right) + \underline{\mathbf{s}}^{ext} \qquad \textbf{(10)}$$

Où $\underline{\mathbf{s}}^{ext}$ désigne le tassement produit en chaque nœud par la charge extérieure ainsi considérée.

Cette fonctionnalité n'est utilisable que sur un support défini en tant que massif multicouche élastique.

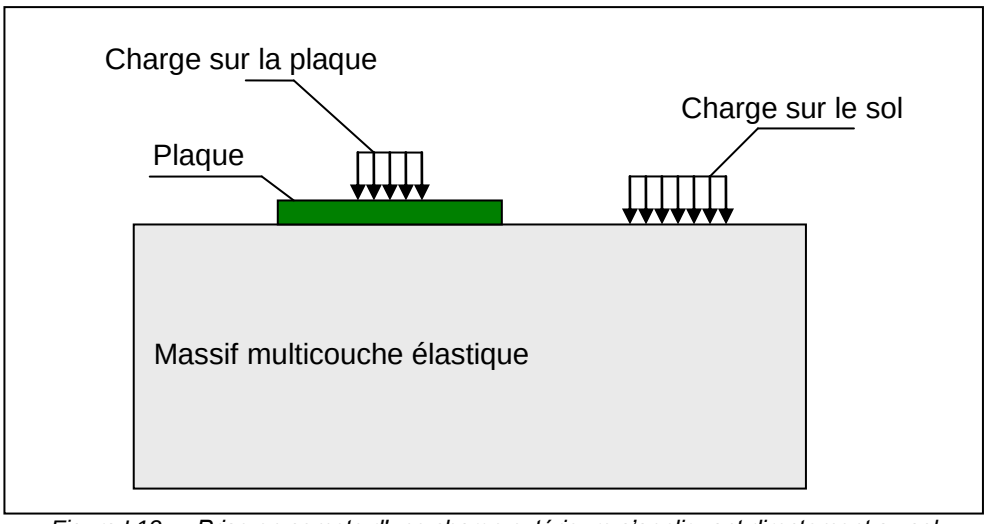


Figure I.12 : Prise en compte d'une charge extérieure s'appliquant directement au sol

I.2.3.4. Prise en compte d'une contrainte initiale dans le sol

Il s'agit de traiter les cas d'ouvrages placés au fond d'une excavation (voir figure 13 ci-dessous). L'hypothèse adoptée consiste à négliger le tassement de "recompression" sous les charges inférieures ou égales au poids des terres initial. Ceci peut être pris en compte en adaptant la relation (6) :

$$\underline{\mathbf{S}} = \underline{\underline{\mathbf{T}}}_{\mathbf{inf}} \cdot \left(\underline{\mathbf{P}}^{\mathbf{s}} - \boldsymbol{\sigma}_{\mathbf{v}}^{\mathbf{0}} \right) \qquad \textbf{(11)}$$

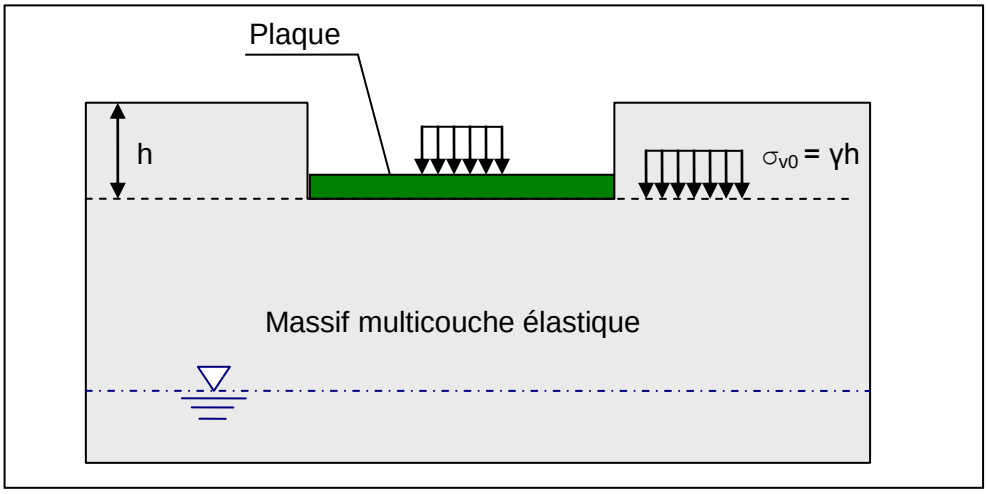


Figure I.13 : Prise en compte d'une contrainte initiale en surface - Exemple

Cette fonctionnalité n'est utilisable que sur un support défini en tant que massif multicouche élastique.

I.2.4. Prise en compte des symétries

Toute condition de symétrie est implicitement supposée valable à la fois pour la plaque, pour le sol ainsi que pour le chargement.

I.2.4.1. Cas d'une symétrie par rapport à un ou deux plans

Il s'agit du cas où le système "plaque + sol + chargement" comporte un ou deux plans de symétrie verticaux.

Dans le cas d'une plaque sur appuis ou sur ressorts, une telle condition est gérée simplement en bloquant les rotations autour de l'axe horizontal générateur de chaque plan de symétrie.

En présence d'un massif élastique, le blocage des rotations au niveau de la plaque demeure nécessaire mais pas suffisant. Il convient, en plus, de tenir compte, dans la constitution de la matrice d'influence du sol, du fait que le tassement s_{ij} au nœud "i" sous l'effet de la charge "j" résulte en réalité du cumul de la charge "j" et de ses symétriques, comme le montre la figure ci-dessous.

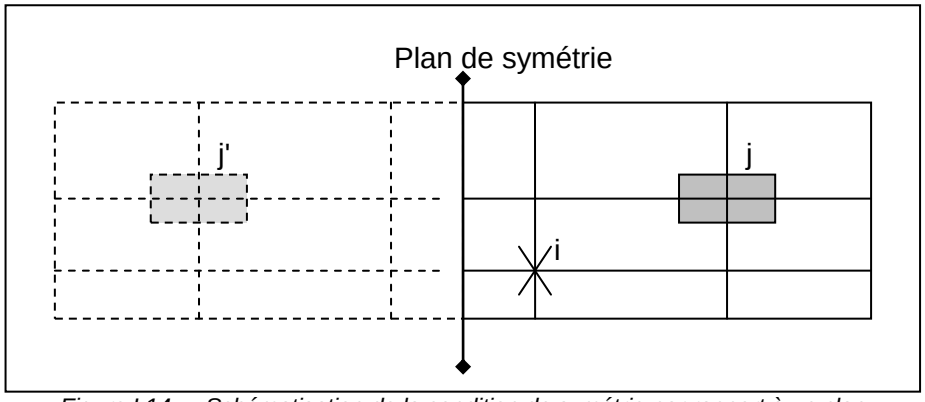


Figure I.14 : Schématisation de la condition de symétrie par rapport à un plan

I.2.4.2. Axisymétrie (ou symétrie par rapport à un axe)

Cette condition de symétrie s'adapte au cas d'une plaque circulaire soumise à un chargement axisymétrique. La prise en compte de cette condition nécessite d'adopter des modèles particuliers.

En coordonnées cylindriques, l'équilibre de la plaque est régi par l'équation suivante :

$$\frac{d^4w}{dr^4}+\frac{2}{r}\frac{d^3w}{dr^3}-\frac{1}{r^2}\frac{d^2w}{dr^2}+\frac{1}{r^3}\frac{dw}{dr}=q(r)\frac{(1-\nu^2)}{EI} \qquad \textbf{(12)}$$

La résolution de cette équation peut être menée en introduisant une discrétisation en éléments finis. On adopte pour cela le modèle de Kirchhoff pour les plaques circulaires avec des éléments "annulaires" à 2 nœuds et 4 degrés de liberté comme le montre la figure ci-dessous. Tout chargement extérieur est également de caractère axisymétrique : charges surfaciques uniformes annulaires comprises entre deux rayons donnés et charges linéiques annulaires à un rayon donné.

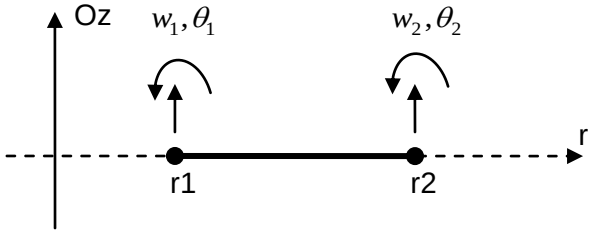


Figure I.15 : Modèle de Kirchhoff pour les plaques circulaires
avec des éléments "annulaires" à 2 nœuds et 4 degrés de liberté

Dans le cas où le sol support est introduit comme un massif multicouche élastique, on procède par intégration numérique directe des formules de Boussinesq pour l'évaluation des coefficients d'influence et la constitution de la matrice de souplesse du sol.

La mise en équation et le principe de résolution sont identiques à ce qui a été présenté pour le cas général 3D. La taille du système à résoudre est 2n x 2n, si l'on note n le nombre de nœuds "activés".

Toutes les fonctionnalités présentées précédemment sont également reprises en axisymétrie : décollement/plastification, désactivation (par zones annulaires), ressorts surfaciques/linéaires…

Ce calcul permet d'obtenir les résultats suivants :

- la flèche et le tassement exprimés en fonction de r (distance à partir de l'axe de symétrie Oz) ;
- la réaction du sol en fonction de r (définie par tronçons annulaires) ;
- les efforts dans la plaque : moment radial (M_r), moment tangentiel (M_t) et effort tranchant (T_r).

Notons que le caractère unidimensionnel des efforts rend aisée leur évaluation directement par intégration des charges et réactions appliquées sur la plaque.

I.2.4.3. Déformations planes

Ce cadre de travail s'adapte au cas où la flexion de la plaque peut être négligée dans une direction. Cela nécessite d'adopter des modèles particuliers.

En déformations planes, l'équilibre de la plaque est régi par l'équation suivante :

$$\frac{d^4 w}{dx^4} = q(x)\frac{(1-\nu^2)}{EI} \qquad \textbf{(13)}$$

La plaque est supposée infinie dans la direction (Oy). Son comportement peut être caractérisé par les lois relatives à la théorie des poutres minces. On introduit pour cela une discrétisation en éléments de poutre à 2 nœuds et 4 degrés de liberté comme le montre la figure ci-dessous. Tout chargement extérieur est également de caractère "infini" dans la direction (Oy) : charges surfaciques uniformes comprises entre deux abscisses données et charges linéiques à une abscisse donné.

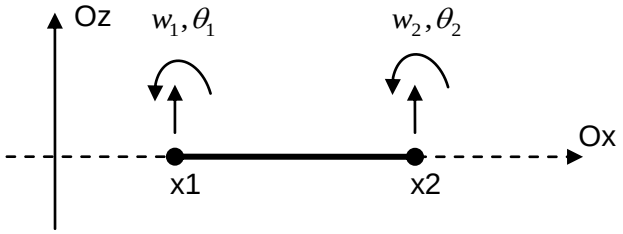


Figure I.16 : Discrétisation en éléments de poutre à 2 nœuds et 4 degrés de liberté

Pour le sol support, dans le cas où celui-ci est introduit comme un multicouche élastique, on adapte le principe du modèle de Steinbrenner pour le cas d'une charge filante (selon Oy). On peut partir pour cela de la formule (2) en faisant tendre B vers l'infini. Ainsi, le tassement produit dans une couche comprise entre les profondeurs d1 et d2, sous le bord d'une charge filante de largeur L, a pour expression :

$$\rho_{D1-D2} = \frac{qL}{E}\left((1-\nu^2)\left(F_1(d_2)-F_1(d_1)\right)+(1-\nu-2\nu^2)\left(F_2(d_2)-F_2(d_1)\right)\right) \qquad \textbf{(14)}$$

$$F_1(D) = \frac{1}{\pi}\ln\left(1+\frac{D^2}{L^2}\right) \quad \text{et} \quad F_2(D) = \frac{1}{\pi}\frac{D}{L}\arctan\left(\frac{L}{D}\right) \qquad \textbf{(15)}$$

La mise en équation et le principe de résolution sont identiques à ce qui a été présenté pour le cas général 3D. La taille du système à résoudre est 2n x 2n, si l'on note n le nombre de nœuds "activés".

Toutes les fonctionnalités présentées précédemment sont également reprises en déformations planes : décollement/plastification, désactivation (par zones filantes), ressorts surfaciques/linéaires…

Ce calcul permet d'obtenir la flèche, tassement et réaction en tout point, ainsi que les efforts dans la plaque : un effort tranchant Tx et un moment fléchissant Mx.

Notons que le caractère unidimensionnel des efforts rend aisée leur évaluation directement par intégration des charges et réactions appliquées sur la plaque (ce qui limite l'influence de la précision liée à la densité du maillage).

I.2.5. Limites de validité

Le module TASPLAQ a fait l'objet d'une étude de validation approfondie d'abord au niveau du modèle choisi pour la plaque, ensuite au niveau de l'approche générale considérée pour la prise en compte du sol support. Cette étude a montré que, dans le cadre du domaine de validité du modèle, les résultats obtenus sont très voisins de ceux issus d'un traitement éléments finis complet en trois dimensions.

I.2.5.1. Validité du modèle de Kirchhoff

L'équation de Lagrange régissant l'équilibre de la plaque découle du modèle de Kirchhoff qui suppose valable l'hypothèse des plaques minces. Il convient de souligner que cette hypothèse consiste à négliger les déformations dues aux efforts de cisaillement, ce qui demeure valable tant que l'épaisseur de la plaque est faible devant ses autres dimensions.

I.2.5.2. Validité du modèle de Boussinesq

Le calcul des déformations du sol support dans TASPLAQ est basé sur le modèle de Boussinesq généralisé. Celui-ci consiste à supposer que les contraintes se propagent de la même manière dans le cas d'un multicouche que dans le cas d'un massif semi infini homogène. La validité de cette hypothèse exige un faible contraste de rigidité entre les différentes couches, sachant qu'elle demeure toutefois valable dans le cas d'une couche déformable surmontant une couche plus raide. En revanche, le cas d'une couche relativement raide surmontant une couche déformable ne peut être traité de cette manière et est donc exclu dans le cadre du modèle à l'exception de certains cas particuliers qui seront abordés par la suite.

Les différents tests de validation, menés par rapport à des calculs éléments finis 3D complets, ont fait constater que la résistance propre à l'élément de structure (plaque) atténue notablement l'incidence de la limitation du modèle de Boussinesq.

I.2.5.3. Cas particulier d'une couche de forme en surface

La présence d'une couche de forme peu déformable en surface peut paraître de nature à limiter la validité de la méthode TASPLAQ du fait de l'inadéquation du modèle de Boussinesq dans ce cas bien précis. Une des manières pour surmonter cette limitation, consiste à intégrer la couche de forme au corps de la plaque, en définissant une inertie équivalente de l'ensemble "plaque + couche de forme". Ceci permet d'aboutir à une déformée plus précise, et il est également possible de remonter aux sollicitations dans la plaque à partir de celles calculées dans le milieu équivalent (plaque + couche de forme) en effectuant une "déshomogénéisation" de celui-ci.

I.3. MANUEL D'UTILISATION

On présente dans ce chapitre :

- les paramètres d'entrée du module Tasplaq.
  Certaines zones ne peuvent recevoir que des données ayant une signification physique (par exemple, un module d'Young doit toujours être strictement positif).
  La fenêtre d'entrée des paramètres de calcul Tasplaq est constituée de 9 onglets distincts, dont un optionnel (Gestion manuelle du décollement/plastification des nœuds). Les données à compléter sur chaque onglet dépendent parfois de certains choix effectués par l'utilisateur : par exemple, les données à compléter pour un calcul en 2 dimensions avec une déformation plane ne seront pas strictement les mêmes que pour un calcul en 3 dimensions.
- les résultats fournis par le module Tasplaq. Là aussi, ils dépendent en partie des données saisies par l'utilisateur, et notamment du type de calcul.

Ce chapitre ne détaille pas l'interface utilisateurs proprement dite et ses manipulations (boutons, menus, etc) : ces aspects sont traités dans la partie C du manuel.

I.3.1. Notations et unités

I.3.1.1. Notations et conventions de signe

Grandeur	Représentation	Convention de signe
Rotations et moments	θ, M	Sens trigonométrique
Flèche de la plaque	w	Positive vers le bas
Tassement du sol	*Tass*	Positif vers le bas
Efforts tranchants	T	Positifs vers le haut
Charge verticale (répartie ou concentrée)	q, F	Positive vers le bas
Réaction du sol, pression d'interaction	r, p	Positive vers le haut
Raideurs	C, K	Toujours positives
Contraintes	σ	Positives en traction

Tableau I.1 : Notations et conventions de signe

I.3.1.2. Unités

Grandeur	Unité
Longueurs et coordonnées	m
Effort vertical ponctuel F	kN
Moments M	kN.m/ml
Efforts tranchants T	kN/ml
Réaction du sol, charges surfaciques	kPa
Déplacements (flèche w, tassement s)	m
Rotations	rad
Module d'Young E	kPa
Raideur surfacique / coefficient de réaction	kPa/m
Raideur ponctuelle en translation	kN/m
Raideur ponctuelle en rotation	kN.m/rad

Tableau I.2 : Unités

I.3.2. Onglet "Paramètres"

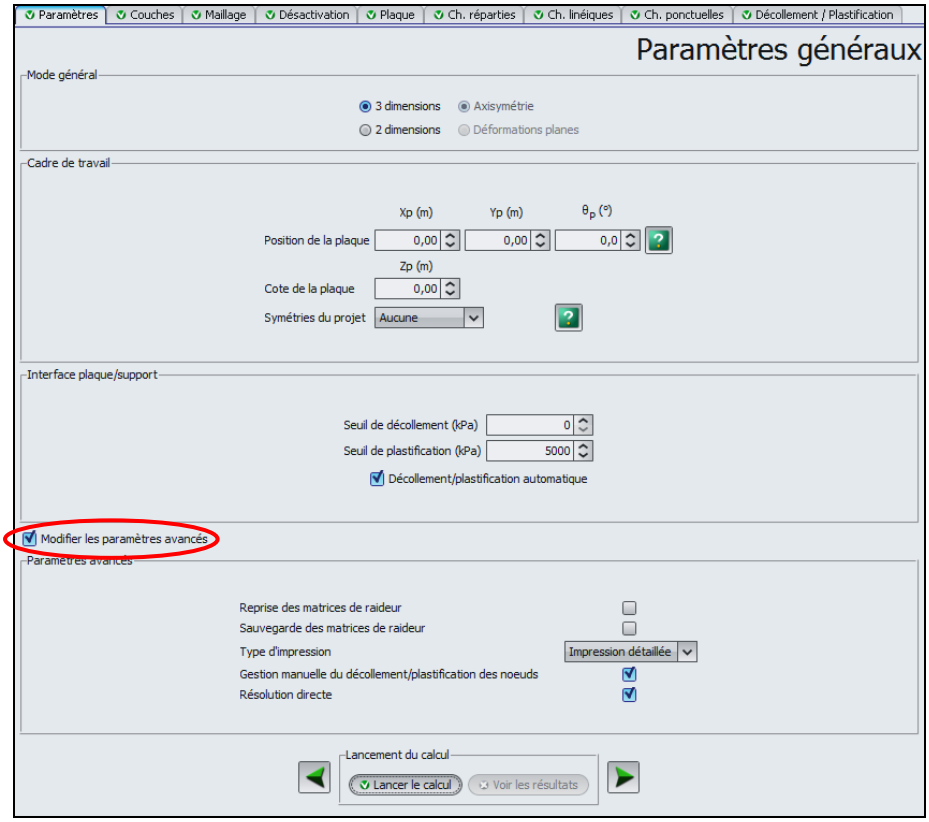


Figure I.17 : Onglet "Paramètres"

I.3.2.1. Cadre "Mode général"

- Indiquer s'il s'agit d'un calcul en trois dimensions ou en deux dimensions ;
- pour un calcul en 2 dimensions, préciser s'il s'agit d'un calcul axisymétrique ou en déformations planes.

En fonction du type de calcul choisi, Tasplaq demandera des paramètres différents dans les onglets suivants.

I.3.2.2. Cadre "Cadre de travail"

Il s'agit de définir le repère local de la plaque.

Le cas général comporte 2 repères :

- le repère de référence (O_0x_0, O_0y_0, O_0z_0), dans lequel seront situées la plaque ainsi que les charges extérieures s'appliquant directement au sol ;
- le repère local (Ox, Oy, Oz) associé à la plaque, dans lequel seront définis le maillage ainsi que les différentes caractéristiques. Ce repère est tel que le plan (Ox, Oy) soit parallèle au plan (O_0x_0, O_0y_0). Ainsi, il peut être parfaitement défini à l'aide de deux paramètres :
  - ✓ les coordonnées (x_p, y_p, z_p) du point O dans le repère de référence. Attention Z_p est la cote de référence du projet.
  - ✓ l'angle θ_p de l'axe (Ox) par rapport à l'axe (O_0x_0).

Désignation	Unité	Valeur par défaut	Condition d'affichage	Valeur obligatoire	Contrôles locaux
X_p, Y_p : coordonnées, dans le repère global, de l'origine du repère local de la plaque	m	0,00	Uniquement s'il n'y a pas de symétrie. Sinon, valeur fixée à 0 (pas de modification possible)	Oui	-
Z_p : cote de référence du projet (cote de la base de la plaque)	m	0,00	Toujours	Oui	-
Téta (θ)	°	0	Uniquement s'il n'y a pas de symétrie. Sinon, valeur fixée à 0 (pas de modification possible)	Oui	-
Symétries	-	Aucune	Toujours	Oui	Choix possible entre "Aucune", "Selon Ox", "Selon Oy", "Selon Ox et Oy"

Tableau I.3 : Onglet "Paramètres" : Cadre "Cadre de travail"

Les figures d'aide suivantes sont disponibles (cliquer sur les boutons) pour illustrer la définition des coordonnées de la plaque et le choix des symétries applicables à chaque projet :

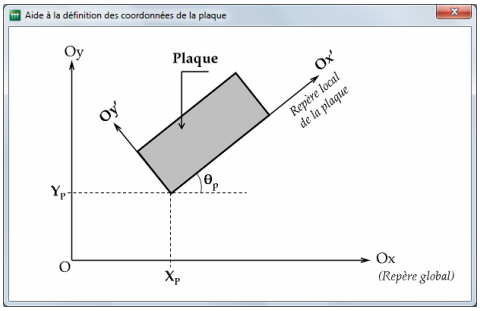


Figure I.18 : Figure d'aide à la définition des coordonnées de la plaque

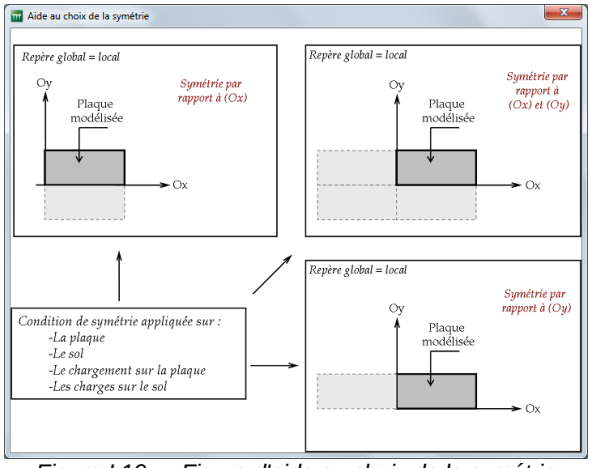


Figure I.19 : Figure d'aide au choix de la symétrie

I.3.2.3. Cadre "Interface plaque/support"

Ce cadre contient les paramètres définissant le comportement du sol en surface, à l'interface plaque/support Ils n'interviennent dans le calcul que dans le cas d'une plaque sur sol support et seulement si le calcul 'décollement/plastification automatique' a été demandé.

- Seuil de décollement : contrainte limite en **traction** à l'interface Sol-Plaque, au-delà de laquelle les nœuds corresponds seront considérés comme "décollés" (si le mode de calcul

"automatique" est coché). En cas de décollement, la réaction du sol au droit des nœuds "décollés" est nulle, et il n'y a plus d'égalité entre le tassement du sol et le déplacement vertical de la plaque en ces noeuds.

- Seuil de plastification : contrainte limite en **compression** à l'interface Sol-Plaque, au-delà de laquelle les nœuds corresponds seront considérés comme "plastifiés" (si le mode de calcul "automatique" est coché). En cas de plastification, la réaction du sol au droit des nœuds "plastifiée" est imposée (égale au seuil de plastification), mais l'égalité entre le tassement du sol et le déplacement vertical de la plaque est toujours assurée.

Dans le cas d'un calcul de type « plaque sur ressorts surfaciques », ces seuils sont automatiquement utilisés par le programme pour gérer le décollement/plastification des ressorts surfaciques. Dans ce cas, ces seuils sont définis comme suit :

- Seuil de décollement : contrainte limite en **traction** des ressorts surfaciques, au-delà de laquelle les éléments correspondants seront considérés comme "décollés" (si le mode de calcul "automatique" est coché). En cas de décollement, la raideur surfacique sous des éléments « décollés » est annulée.

- Seuil de plastification : contrainte limite en **compression** des ressorts surfaciques, au-delà de laquelle les éléments correspondants seront considérés comme "plastifiés" (si le mode de calcul "automatique" est coché). En cas de plastification, la raideur surfacique sous ces éléments est remplacée par une réaction constante égale au seuil de plastification.

Désignation	Unité	Valeur par défaut	Condition d'affichage	Valeur obligatoire	Contrôles locaux
Seuil de décollement	kPa	5	Toujours	Oui	≥ 0
Seuil de plastification	kPa	2000	Toujours	Oui	> 10
Décollement/plastification automatique (en fonction des critères de décollement et de plastification ci-dessus)	-	Décochée	Toujours	Oui	-

Tableau I.4 : Onglet "Paramètres" : Cadre "Interface plaque/support"

I.3.2.4. Cadre "Paramètres avancés"

La case "Modifier les paramètres avancés" est décochée par défaut. Si elle est cochée, le cadre "Paramètres avancés" apparaît (cf Figure I.17).

- Reprise des matrices de raideur : cette option permet de reprendre la matrice d'influence, (supposée pré-enregistrée) d'un calcul antérieur. Cette option permet un gain de temps important dans le cas d'un système avec plusieurs cas de chargement.
- Sauvegarde des matrices de raideur : permet de sauvegarder la matrice d'influence du sol pour un calcul ultérieur. Cette option est utile dans le cas d'un système avec plusieurs cas de chargement, par exemple.
- Type d'impression : contrôle l'impression du fichier de résultats. Ce choix concerne le récapitulatif des données uniquement :
  - ✓ impression réduite : récapitulatif sommaire des données ;
  - ✓ impression détaillée : récapitulatif détaillé des données.
- Gestion manuelle du décollement/plastification des nœuds : lorsque la case est cochée, un onglet supplémentaire "Décollement / Plastification" apparaît (cf chapitre I.3.10). Cet onglet permet de forcer le décollement/plastification d'une zone donnée à l'interface sol/plaque (définition manuelle par l'utilisateur des nœuds à déclarer comme décollés ou plastifiés).
- Résolution directe : cette option contrôle le mode de résolution, direct ou itératif, du système d'équations global dans le cas d'une plaque sur un massif multicouche.

Désignation	Unité	Valeur par défaut	Condition d'affichage	Valeur obligatoire	Contrôles locaux
Reprise des matrices de raideur	-	Décochée	Toujours	Oui	-
Sauvegarde des matrices de raideur	-	Décochée	Toujours	Oui	-
Type d'impression	-	Impression détaillée	Toujours	Oui	-
Gestion manuelle du décollement/plastification des nœuds	-	Décochée	Toujours (apparition d'un nouvel onglet si cochée)	Oui	-
Résolution directe	-	Cochée	Toujours	Oui	-

Tableau I.5 : Onglet "Paramètres" : Cadre "Paramètres avancés"

I.3.3. Onglet "Couches"

Ce deuxième onglet permet la saisie des paramètres relatifs au comportement du sol.

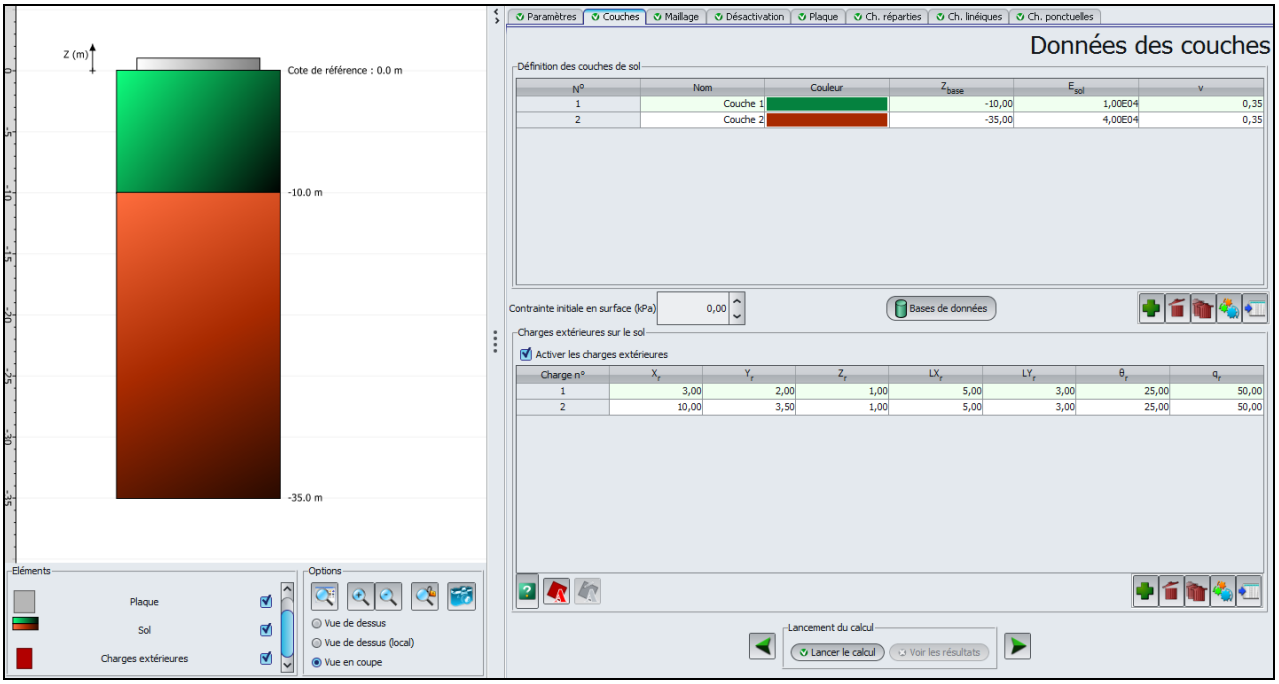


Figure I.20 : Onglet "Couches" : cas d'un modèle 3D

I.3.3.1. Cadre "Définition des couches de sol"

La définition de couches de sol ne constitue pas une étape obligatoire dans Tasplaq : dans le cas d'un calcul sur appuis élastiques uniquement par exemple, on ne définit pas de couches de sol (cf exemple 1 dans ce manuel).

Le tableau suivant décrit les paramètres de sol à définir pour chaque couche :

Désignation	Unité	Valeur par défaut	Condition d'affichage	Valeur obligatoire	Contrôles locaux
$\mathbf{Z_{base}}$: cote de la base de la couche	m	1 m sous la base de la couche au-dessus	Toujours	Oui	Valeurs strictement décroissantes
$\mathbf{E_{sol}}$: Module d'Young de la couche considérée	kPa	-	Toujours	Oui	$x > 0$
ν : coefficient de Poisson	-	-	Toujours	Oui	$0 \leq \nu < 0,5$

Tableau I.6 : Paramètres des couches de sol

Sous le tableau de définition des couches de sol, il convient de saisir la contrainte initiale en surface pour le modèle :

Désignation	Unité	Valeur par défaut	Condition d'affichage	Valeur obligatoire	Contrôles locaux
Contrainte initiale en surface	kPa	0	Toujours	Oui	-

Tableau I.7 : Définition de la contrainte initiale en surface

Foxta offre la possibilité d'enregistrer les couches de sol dans la base de données des sols du projet et/ou dans la base de données globale des sols en cliquant sur le bouton Bases de données.

Ceci permet d'enregistrer les couches de sol avec leurs paramètres et d'éviter de les saisir à nouveau lors de la création d'un nouveau module dans le projet en cours, ou d'un autre projet Foxta.

L'utilisation de la base de données des sols est décrite en détail dans la partie C du manuel.

I.3.3.2. Cadre "Charges extérieures sur le sol"

Outre la (les) pression(s) exercée(s) par la plaque, le sol peut être soumis à des charges extérieures "directes". Ces charges sont supposées de forme rectangulaire, positionnées et orientées dans le repère global.
La figure ci-dessous décrit la disposition globale du problème :

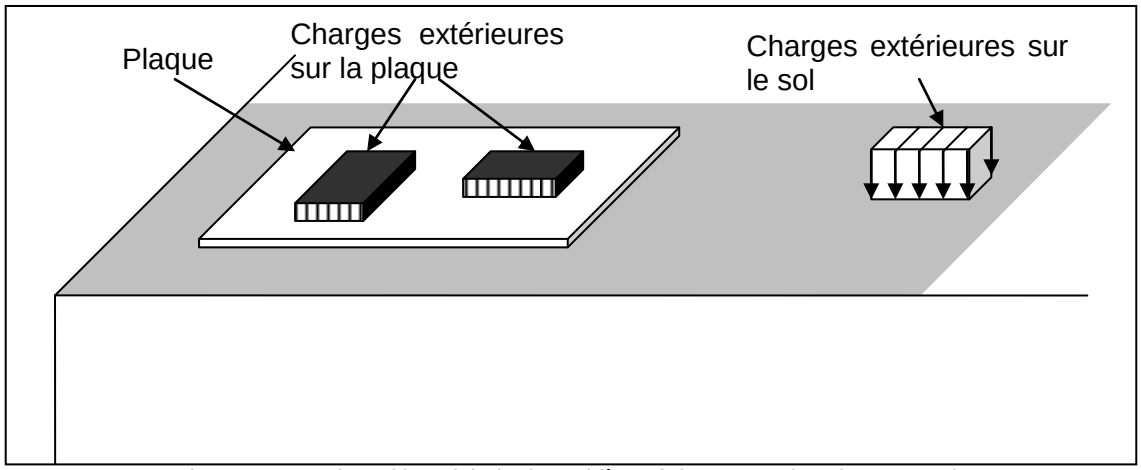


Figure I.21 : Disposition globale du problème {Plaque + Sol + Charges ext.}

La case à cocher "Activer les charges extérieures" est décochée par défaut. Si elle est cochée, le tableau de définition des charges extérieures s'affiche (cf Figure I.20).

I.3.3.2.1. Saisie des charges extérieures (pour les modèles 3D)

Les données à saisir varient selon le type de projet choisi sur le premier onglet :

- Pour un projet en 3 dimensions, chaque charge est caractérisée par les coordonnées de son sommet "bas – gauche" (X_r, Y_r, Z_r), ses dimensions (largeur LX_r et longueur LY_r), son orientation (θ_r), ainsi que par sa densité de charge (q_r). La figure d'aide suivante, disponible dans le logiciel, illustre ces paramètres.

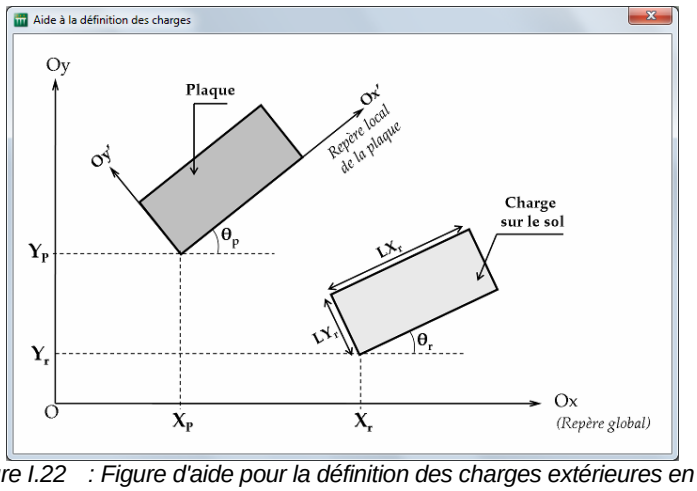


Figure I.22 : Figure d'aide pour la définition des charges extérieures en 3D

- Pour un projet 2D, chaque charge est caractérisée par les coordonnées de son extrémité dans le repère (X_r, Z_r), sa largeur L_r et sa densité de charge (q_r). Les figures d'aide suivantes, disponibles dans le logiciel, illustrent ces paramètres.

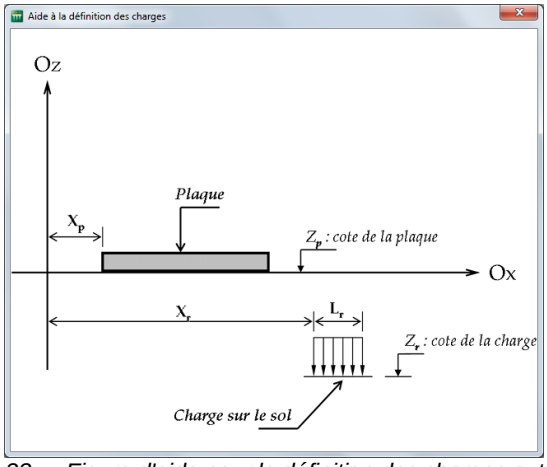


Figure I.23 : Figure d'aide pour la définition des charges extérieures dans le cas d'un projet 2D en déformations planes

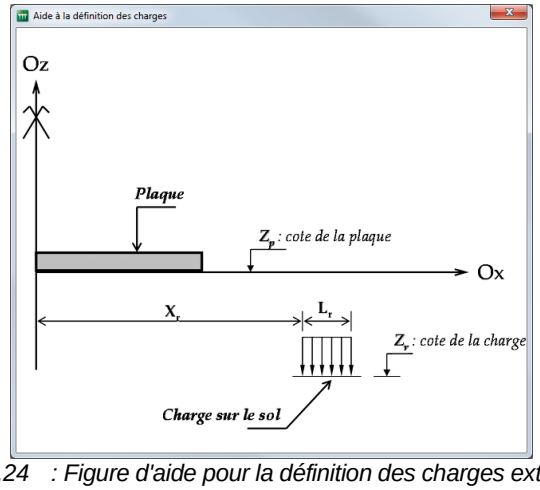


Figure I.24 : Figure d'aide pour la définition des charges extérieures dans le cas d'un projet 2D axisymétrique

On note que les charges extérieures en 3D ne sont pas forcément orientées parallèlement aux axes Ox et Oy : elles peuvent être placées avec des angles quelconques par rapport à ces axes.

Les 2 tableaux suivants distinguent les données à saisir dans le cas des modèles 3D et 2D respectivement.

Désignation	Unité	Valeur par défaut	Condition d'affichage	Valeur obligatoire	Contrôles locaux
X_r, Y_r, Z_r : coordonnées du coin de référence du rectangle dans le repère global	m	-	Toujours	Oui	-
LX_r	m	1,00	Uniquement en mode 3D	Oui	> 0
LY_r	m	1,00	Uniquement en mode 3D	Oui	> 0
Teta θ_r	°	-	Uniquement en mode 3D	Oui	-
q_r	kPa	-	Toujours	Oui	-

Tableau I.8 : Paramètres pour la définition des charges extérieures sur le sol dans le cas d'un modèle 3D

Désignation	Unité	Valeur par défaut	Condition d'affichage	Valeur obligatoire	Contrôles locaux
X_r, Z_r : coordonnées du coin de référence du rectangle dans le repère global	m	-	Toujours	Oui	-
L_r :	m	1,00	Toujours	Oui	> 0
q_r	kPa	-	Toujours	Oui	-

Tableau I.9 : Paramètres pour la définition des charges extérieures sur le sol dans le cas d'un modèle 2D

Cet onglet dispose d'un bouton Assistant pour faciliter la définition des chargements pour les modèles 3D (voir le chapitre I.3.3.2.2).

Pour visualiser un chargement particulier, sélectionner une ligne dans le tableau des charges : le chargement correspondant est alors encadré en vert sur la représentation graphique dans la partie gauche de la fenêtre.

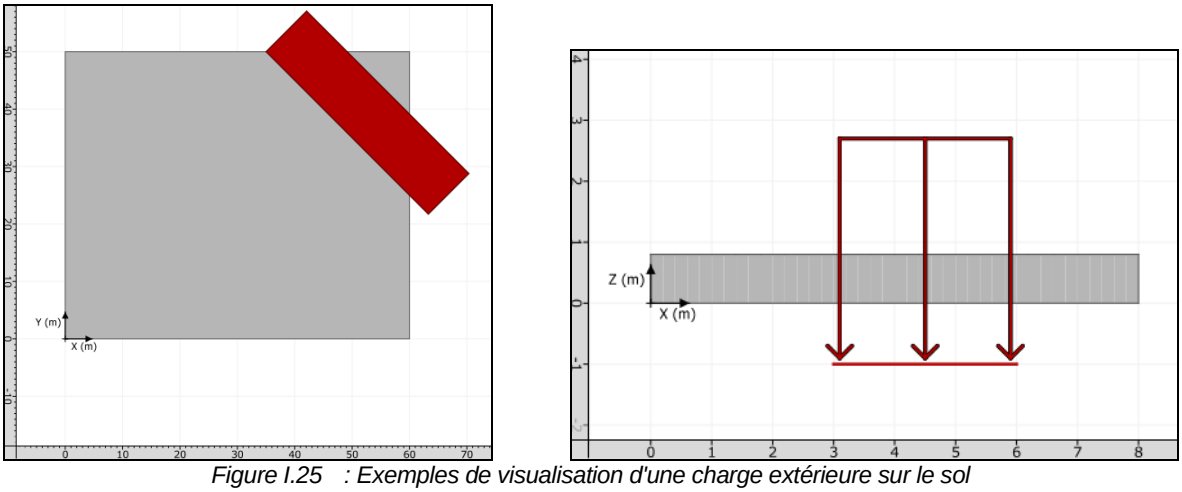


Figure I.25 : Exemples de visualisation d'une charge extérieure sur le sol

I.3.3.2.2. Assistants pour la définition des charges extérieures (pour les modèles 3D)

Lors de la définition d'un projet en 3 dimensions et pour faciliter la définition de chargements "courants", cet onglet dispose d'un bouton "Assistant charges extérieures" qui permet de définir simplement :

- un chargement circulaire uniforme ;
- ou un chargement annulaire uniforme ;
- ou un chargement de type talus 3D.

La Figure I.26 illustre les différents assistants disponibles :

- choisir le type de chargement ;
- renseigner les différents champs de saisie ;
- cliquer sur le bouton Transférer.

La description du fonctionnement des fenêtres des différents chargements est expliquée dans les sous-chapitres suivants.

Nota : il est possible d'utiliser plusieurs assistants, ou plusieurs fois le même assistant Charges dans le cadre du même calcul Tasplaq.

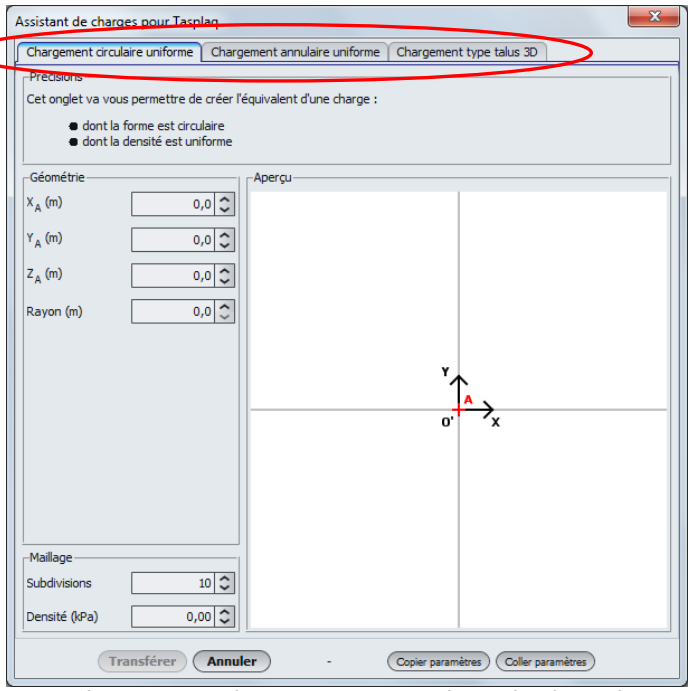


Figure I.26 : Chargements automatiques (assistants)

Assistant : "Chargement circulaire uniforme"

Cet assistant permet de générer un groupe de charges rectangulaires équivalent à une charge circulaire uniforme.

Les données à introduire sont les suivantes :

Désignation	**Unité**	**Valeur par défaut**	**Condition d'affichage**	**Valeur obligatoire**	**Contrôles locaux**
Point A (X_A, Y_A, Z_A) : coordonnées du centre du disque	m	(0,0,0)	Toujours	Oui	-
Rayon du disque chargé	m	-	Toujours	Oui	> 0
Subdivisions	-	10	Toujours	Oui	> 0
Densité de la charge	kPa	-	Toujours	Oui	> 0

Tableau I.10 : Paramètres pour l'assistant "Chargement circulaire uniforme"

*Edition juillet 2013 - **Copyright © Foxta v3 - 2011***

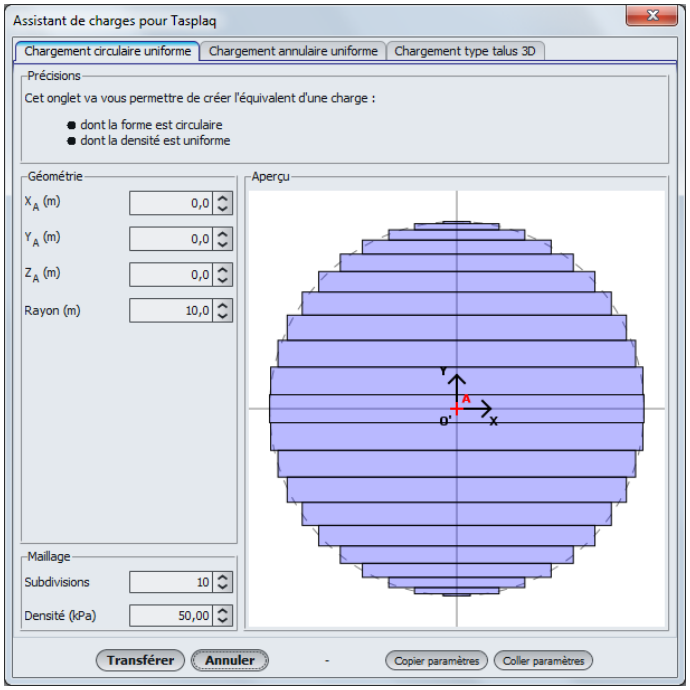


Figure I.27 : Assistant : "Chargement circulaire uniforme"

La génération de charges rectangulaires représentant le chargement circulaire et le calcul de leurs propriétés X_r, Y_r, Z_r, L_X, L_Y, θ_r et q_r, sont activés par un clic sur le bouton **Transférer** :

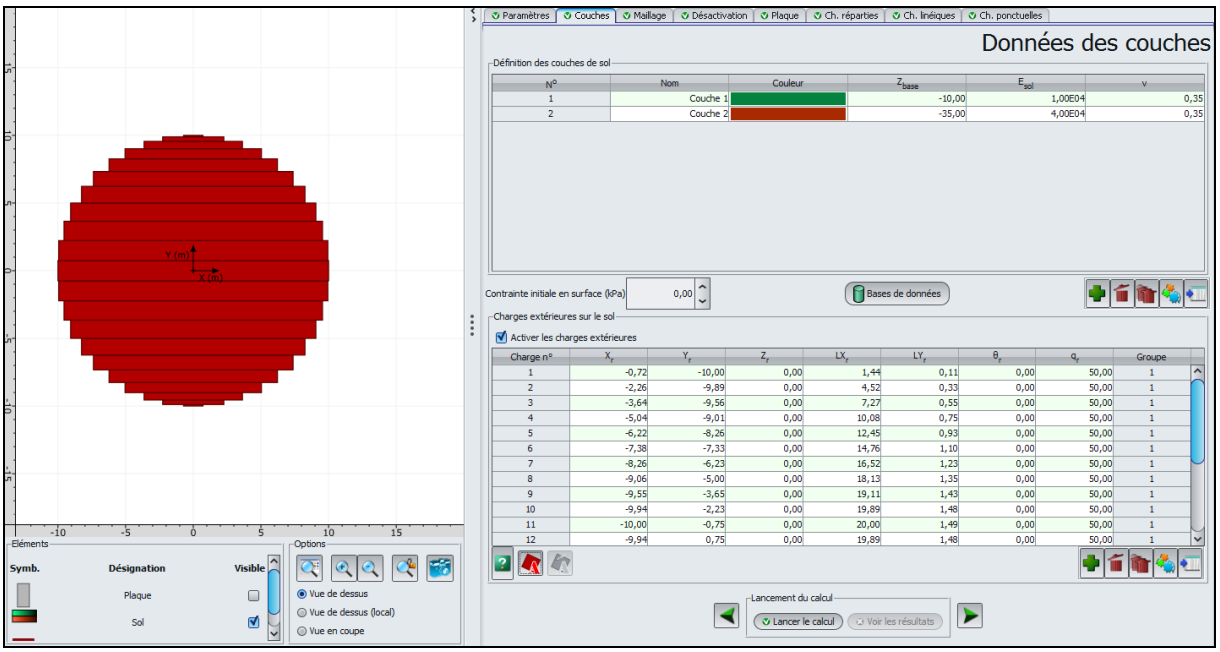

Paramètres
Couches
Maillage
Désactivation
Plaque
Ch. réparties
Ch. linéiques
Ch. ponctuelles
Données des couches
Définition des couches de sol
N° Nom Couleur Z base E sol ν
1 Couche 1 -10,00 1,00E04 0,35
2 Couche 2 -35,00 4,00E04 0,35
Contrainte initiale en surface (kPa) 0,00
Bases de données
Charges extérieures sur le sol
Activer les charges extérieures
Charge n° X r Y r Z r LX r LY r θ r q r Groupe
1 -0,72 -10,00 0,00 1,44 0,11 0,00 50,00 1
2 -2,26 -9,89 0,00 4,52 0,33 0,00 50,00 1
3 -3,64 -9,56 0,00 7,27 0,55 0,00 50,00 1
4 -5,04 -9,01 0,00 10,08 0,75 0,00 50,00 1
5 -6,22 -8,26 0,00 12,45 0,93 0,00 50,00 1
6 -7,38 -7,33 0,00 14,76 1,10 0,00 50,00 1
7 -8,26 -6,23 0,00 16,52 1,23 0,00 50,00 1
8 -9,06 -5,00 0,00 18,13 1,35 0,00 50,00 1
9 -9,55 -3,65 0,00 19,11 1,43 0,00 50,00 1
10 -9,94 -2,23 0,00 19,89 1,48 0,00 50,00 1
11 -10,00 -0,75 0,00 20,00 1,49 0,00 50,00 1
12 -9,94 0,75 0,00 19,89 1,48 0,00 50,00 1
Eléments
Symb. Désignation Visible
Plaque
Sol
Options
Vue de dessus
Vue de dessus (local)
Vue en coupe
Lancement du calcul
Lancer le calcul
Voir les résultats

Figure I.28 : Onglet "Couches" - Charges extérieures – Après assistant "Chargement circulaire uniforme"

Assistant : Chargement annulaire uniforme

Cet assistant permet de générer un groupe de charges rectangulaires équivalent à une charge annulaire uniforme.

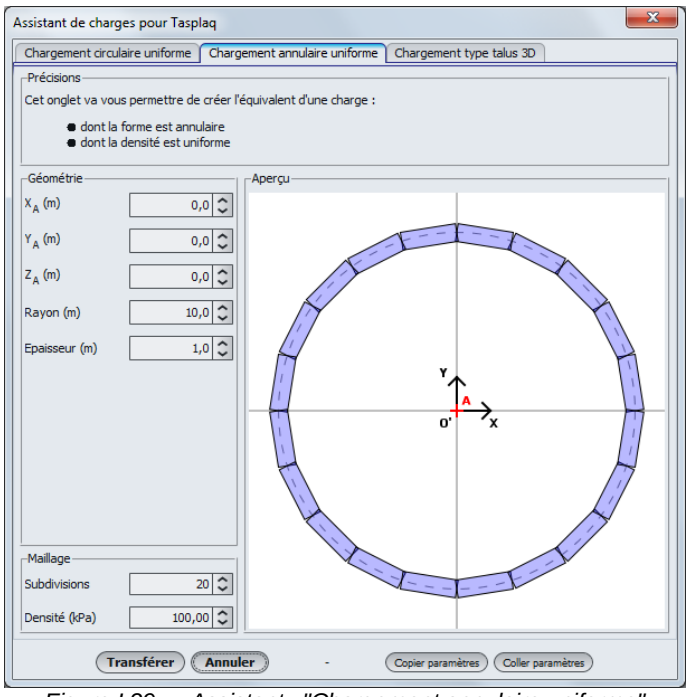


Figure I.29 : Assistant : "Chargement annulaire uniforme"

Les données à introduire sont les suivantes :

Désignation	**Unité**	**Valeur par défaut**	**Condition d'affichage**	**Valeur obligatoire**	**Contrôles locaux**
Point A (X_A, Y_A, Z_A) : coordonnées du centre de l'anneau	m	(0,0,0)	Toujours	Oui	-
Rayon moyen de l'anneau	m	-	Toujours	Oui	> 0
Epaisseur de l'anneau	m	-	Toujours	Oui	> 0
Subdivisions	-	20	Toujours	Oui	≥ 3
Densité de la charge	kPa	-	Toujours	Oui	> 0

Tableau I.11 : Paramètres pour l'assistant "Chargement annulaire uniforme"

La génération de charges rectangulaires représentant le chargement annulaire et le calcul de leurs propriétés X_r, Y_r, Z_r, L_X, L_Y, θ_r et q_r, sont activés par un clic sur le bouton Transférer :

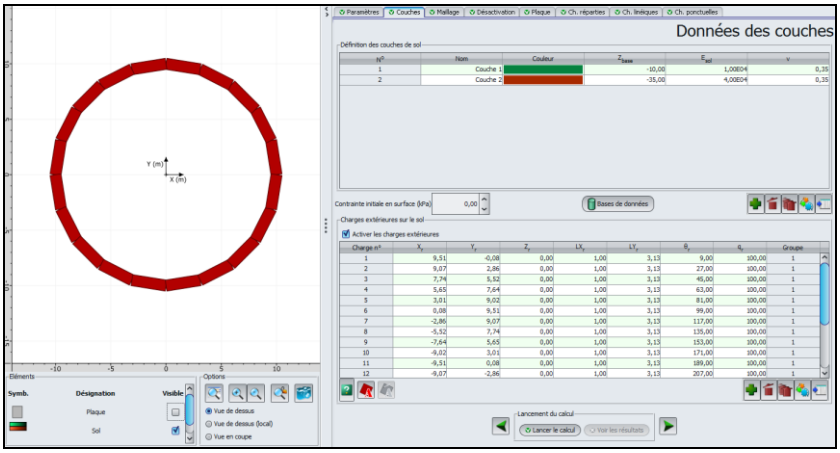


Figure I.30 : Onglet "Couches" - Charges extérieures - Après assistant "Chargement annulaire uniforme"

*Edition juillet 2013 - **Copyright © Foxta v3 - 2011***

Assistant : Chargement type Talus 3D

Cet assistant permet de générer un groupe de charges rectangulaires équivalent à un talus tri-dimensionnel.

Ci-après un exemple de chargement de ce type illustrant le cas général (valeur de charge différente en chacun des 4 points A, B, C et D).

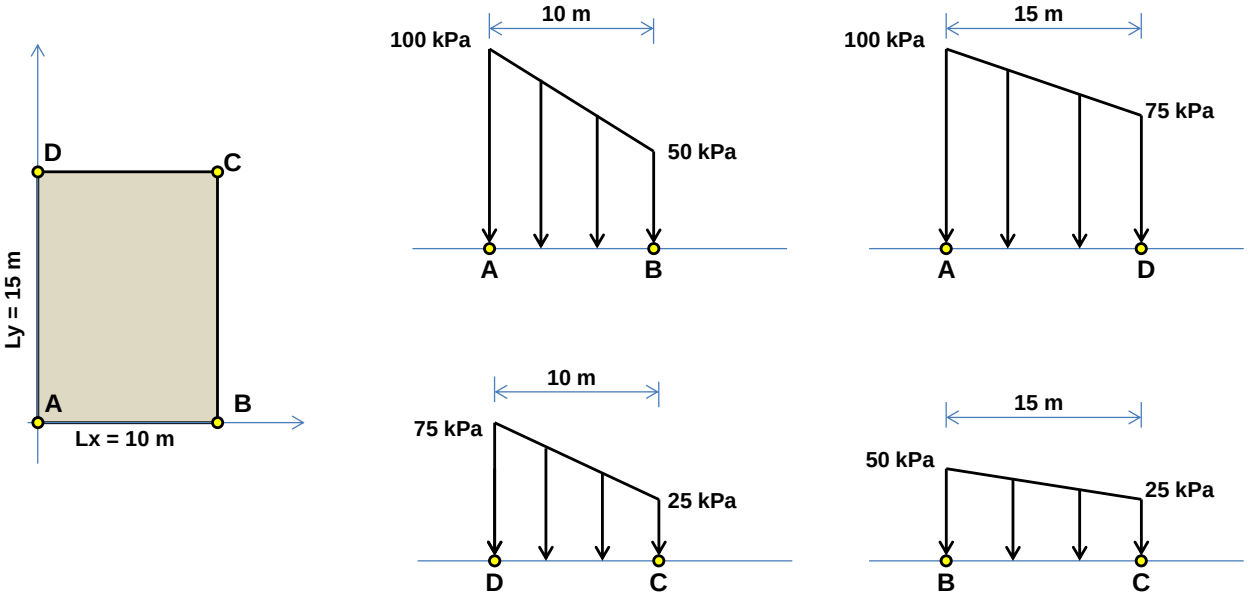


Figure I.31 : Exemple de chargement de type Talus 3D

La définition correspondante dans l'assistant est la suivante :

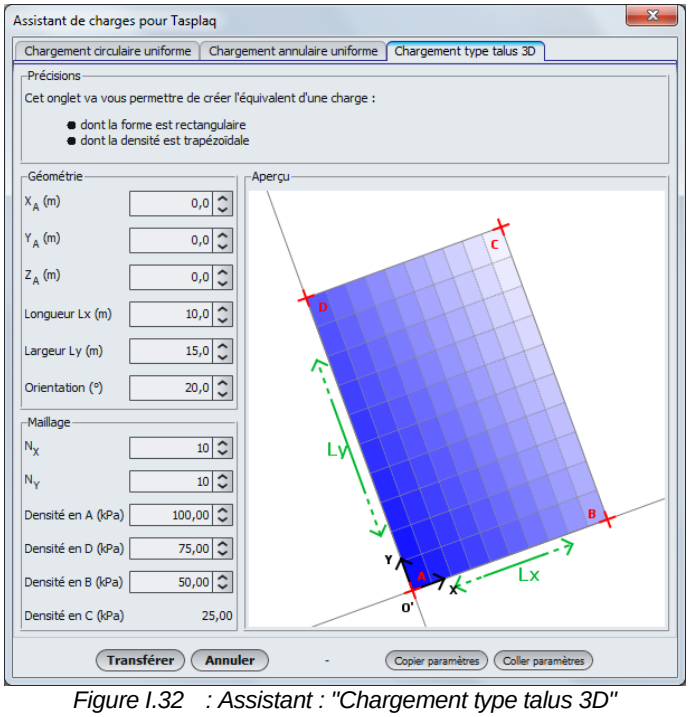


Figure I.32 : Assistant : "Chargement type talus 3D"

Les données à introduire sont les suivantes :

Désignation	**Unité**	**Valeur par défaut**	**Condition d'affichage**	**Valeur obligatoire**	**Contrôles locaux**
Point A (X_A, Y_A, Z_A) : Coordonnées du coin inférieur gauche du talus	m	-	Toujours	Oui	-
L_x : Longueur du talus	m	-	Toujours	Oui	> 0
L_y : Largeur du talus	m	-	Toujours	Oui	> 0
θ : Orientation	°	-	Toujours	Oui	
N_x : Subdivisions suivant X	--	10	Toujours	Oui	≥ 2
N_y : Subdivisions suivant Y	--	10	Toujours	Oui	≥ 2
Densité de charge en A	kPa	-	Toujours	Oui	Au moins l'une des 3 valeurs doit être non nulle
Densité de charge en B	kPa	-	Toujours	Oui	
Densité de charge en D	kPa	-	Toujours	Oui	
Densité de charge en C	kPa	-	Toujours	Oui	Calculée automatiquement à partir des 3 valeurs précédentes

Tableau I.12 : Paramètres pour l'assistant "Chargement de type Talus 3D"

La génération des rectangles de chargement représentant le chargement de type "Talus 3D" et le calcul de leurs propriétés X_r, Y_r, Z_r, L_X, L_Y, θ_r et q_r, sont activés par un clic sur le bouton Transférer :

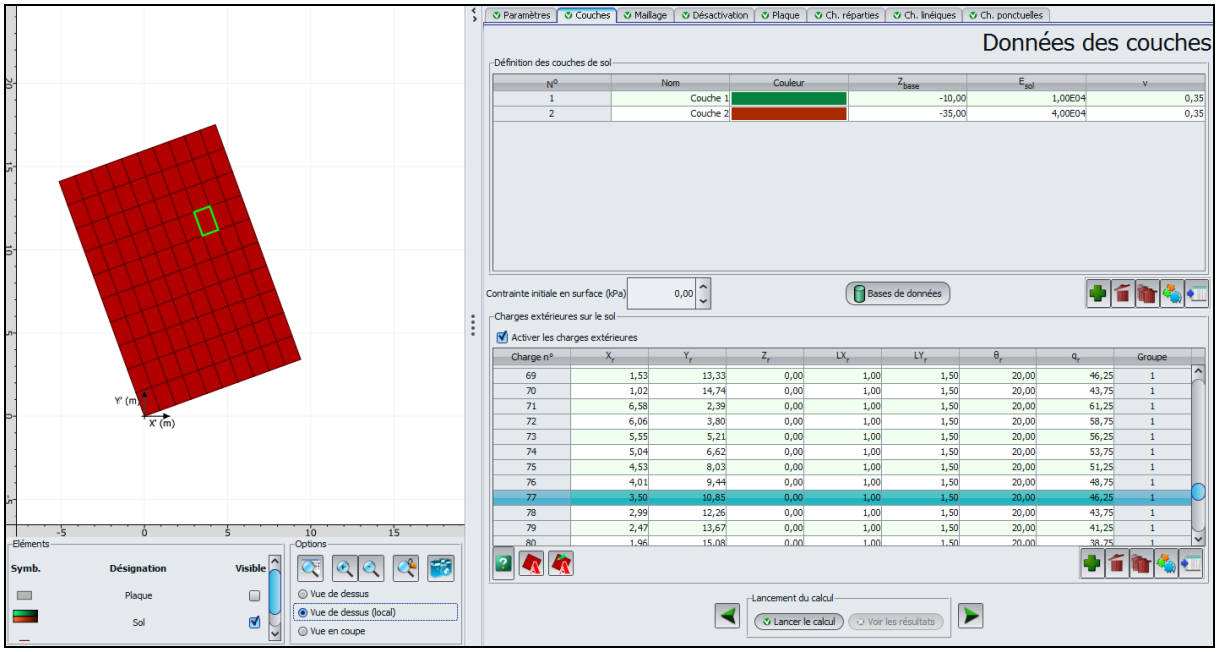


Figure I.33 : Onglet "Couches - Charges extérieures – Après assistant "Chargement de type talus 3D"

Modification d'un groupe de charge

La sélection d'une ligne dans la liste entoure d'un liseré vert la représentation graphique sur la partie gauche de l'écran et rend accessible l'assistant de modification du groupe de charge sélectionné :

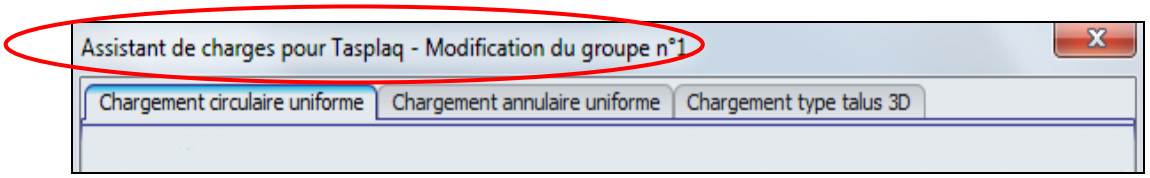

Assistant de charges pour Tasplaq - Modification du groupe n°1
Chargement circulaire uniforme
Chargement annulaire uniforme
Chargement type talus 3D

Figure I.34 : Assistant de charges pour Tasplaq – Exemple de modification du groupe n°1

I.3.4. Onglet "Maillage"

On se place à présent dans le repère local de la plaque.

- Le maillage est défini en 2 étapes correspondant aux directions Ox et Oy pour un projet 3D.
- Seul le maillage selon Ox est à définir pour un projet 2D.

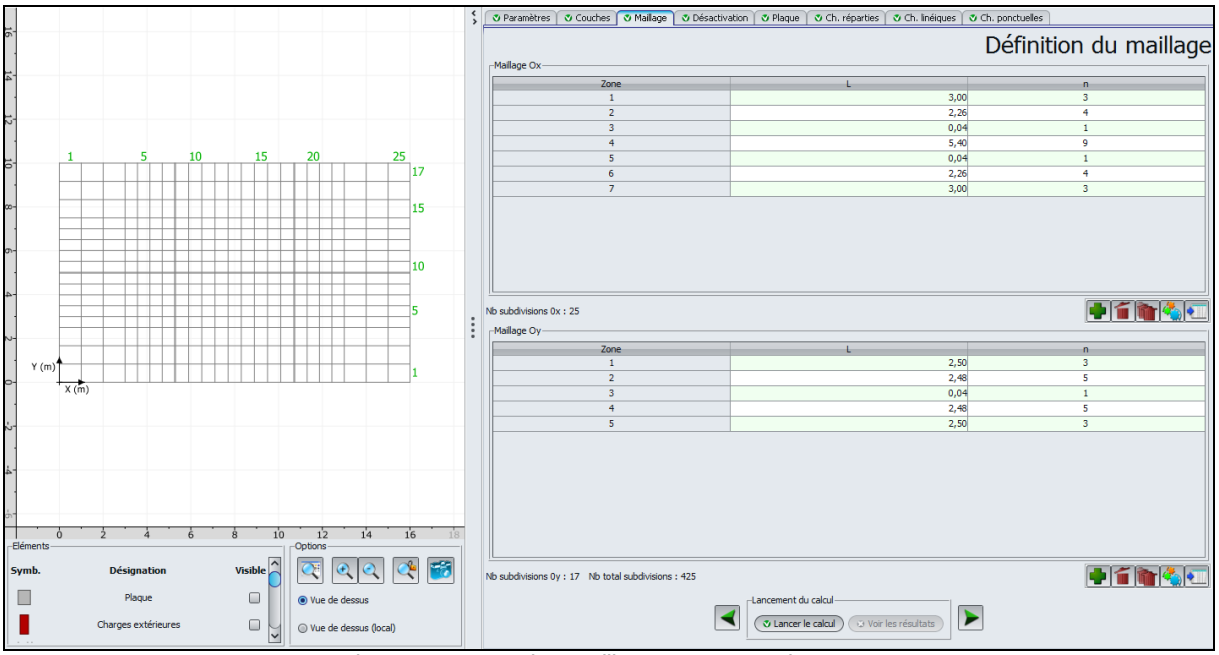


Figure I.35 : Onglet "Maillage" pour un projet en 3D

I.3.4.1. Maillage selon (Ox)

La plaque est divisée en une ou plusieurs zones selon l'axe Ox. Chaque zone est caractérisée par sa longueur Lx et le nombre de subdivisions n associé comme le montre le schéma ci-dessous.

Cette étape est obligatoire, il faut définir au moins une zone.

Ci-dessous un récapitulatif des paramètres du maillage selon Ox :

Désignation	Unité	Valeur par défaut	Condition d'affichage	Valeur obligatoire	Contrôles
L : Longueur de la zone considérée	m	1,00	Toujours	Oui	>0
n : nombre de subdivisions de la zone considérée	-	10	Toujours	Oui	≥ 1

Tableau I.13 : Paramètres du maillage selon (Ox)

Dans la fenêtre graphique, la plaque est représentée par une vue de dessus : l'utilisateur peut visualiser la discrétisation définie au fur et au mesure de la saisie.

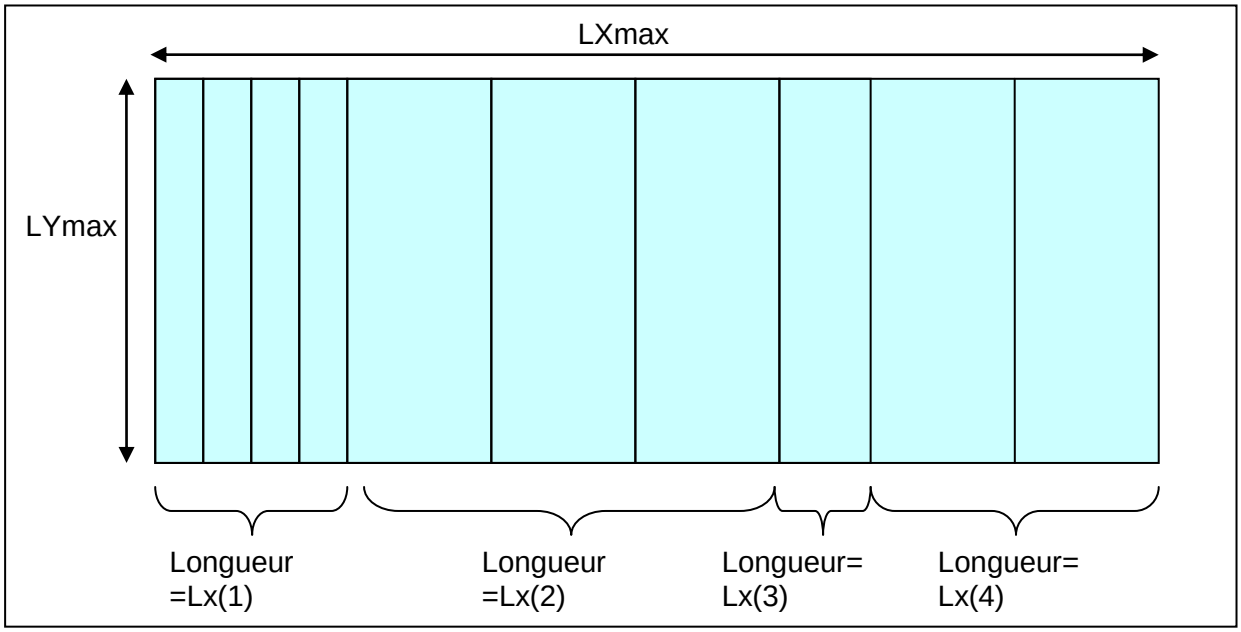


Figure I.36 : Maillage selon (Ox) - Principes de modélisation

I.3.4.2. Maillage selon (Oy)

Le maillage étant défini dans la direction (Ox), on lui superpose une discrétisation dans la direction (Oy) selon le même principe, comme le montre la figure ci-dessous.

Cette étape est obligatoire pour un projet en mode 3D : il faut définir au moins une zone.

Dans le cas de projets 2D, cette étape n'existe pas.

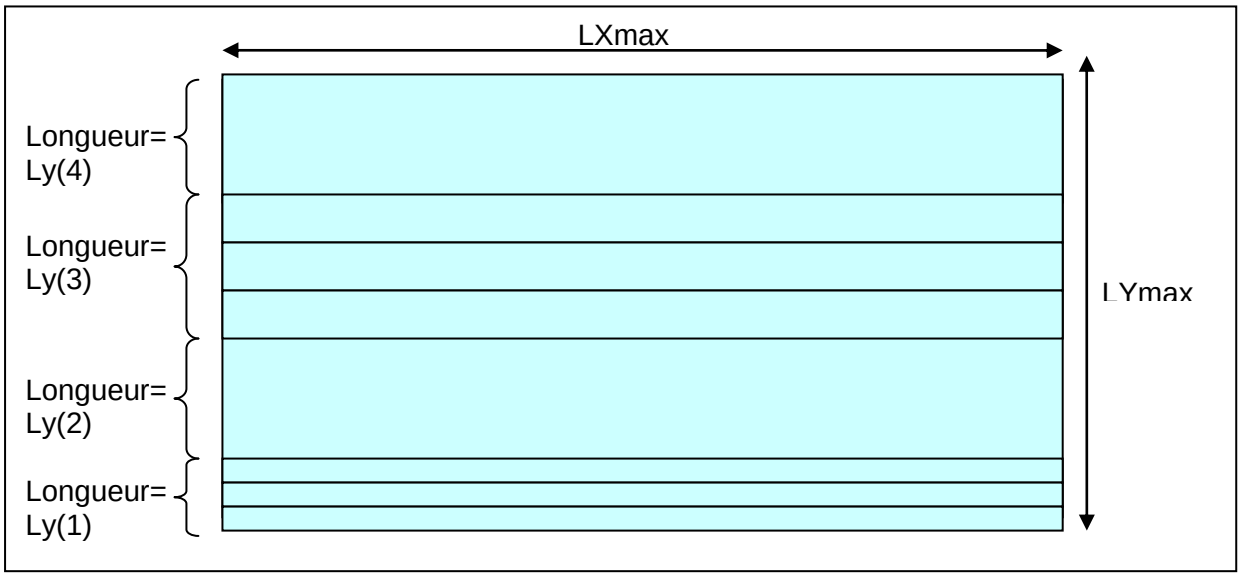


Figure I.37 : Maillage selon (Oy) - Principes de modélisation

Le principe de la discrétisation est identique à celui considéré pour la direction (Ox) : le pas de discrétisation est défini par zone, chaque zone étant caractérisée par sa longueur L_y et le nombre de subdivisions n associé comme le montre le schéma ci-dessus.

Ci-dessous un récapitulatif des paramètres du maillage selon Oy :

Désignation	Unité	Valeur par défaut	Condition d'affichage	Valeur obligatoire	Contrôles
L : Longueur de la zone considérée	m	1,00	Toujours	Oui	>0
n : nombre de subdivisions de la zone considérée	-	10	Toujours	Oui	≥ 1

Tableau I.14 : Paramètres du maillage selon (Oy)

Attention : le nombre total d'éléments activés Ox × Oy doit être inférieur à 4000 (maximum gérable par Windows®).

La superposition des deux maillages (Ox) et (Oy) conduit au maillage final (cf Figure I.35).

I.3.5. Onglet "Désactivation"

Une fois le maillage défini, il convient à présent de fixer la géométrie "effective" de la plaque. En effet, il est possible de modéliser des géométries de plaques complexes, en utilisant l'option de désactivation d'éléments : définition de joints, de plaques non rectangulaires, de plaques multiples disjointes, etc.

Cette étape n'est pas obligatoire : si aucun élément n'est désactivé, la plaque est supposée recouvrir l'ensemble du maillage.

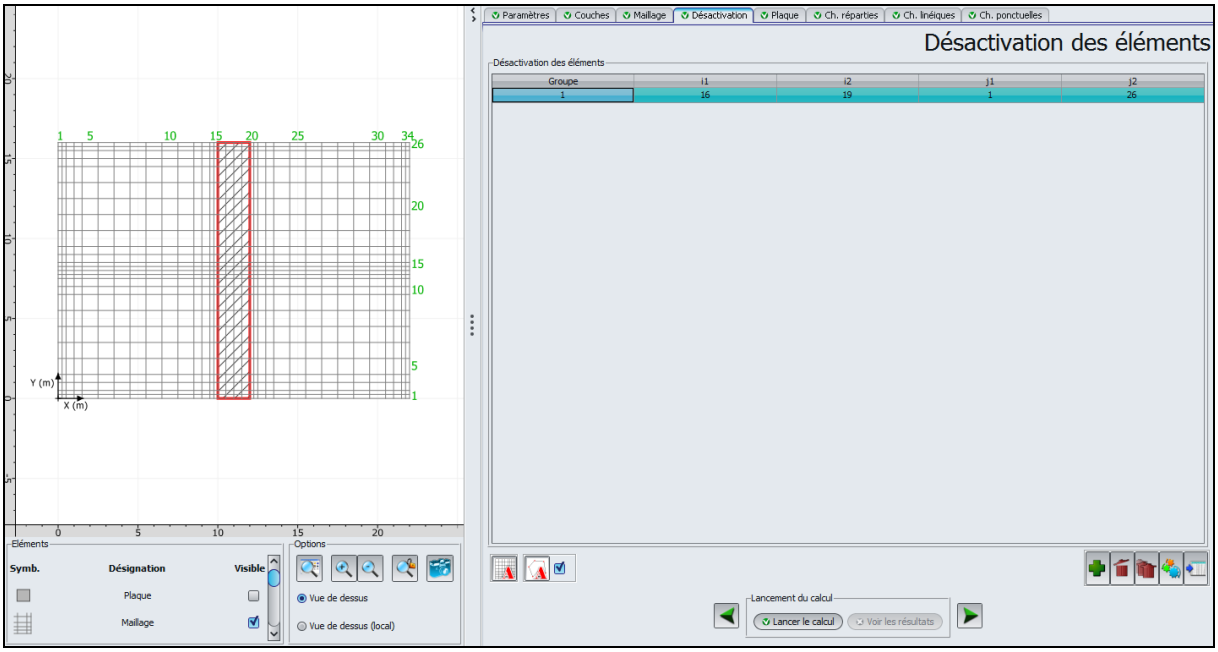


Figure I.38 : Onglet "Désactivation"

I.3.5.1. Définition des zones désactivées

Chaque zone désactivée de la plaque est définie par un groupe d'éléments correspondant à une zone rectangulaire.

Les groupes d'éléments sont eux-mêmes définis grâce à un système de numérotation : les éléments sont numérotés dans chaque direction pour faciliter la sélection des groupes sous la forme "i1 i2 j1 j2". Le système de numérotation des éléments dans chaque direction apparaît sur la représentation graphique (Figure I.38).

Ci-dessous les paramètres de désactivation à définir pour chaque zone désactivée :

Désignation	Unité	Valeur par défaut	Condition d'affichage	Valeur obligatoire	Contrôles locaux
i1	-	-	Toujours	Oui	> 0 et ≤ nombre de subdivisions total selon (Ox)
i2	-	-	Toujours	Oui	≥ i1 et ≤ nombre de subdivisions total selon (Ox)
j1	-	-	Uniquement en mode 3D	Oui	> 0 et ≤ nombre de subdivisions total selon (Oy)
j2	-	-	Uniquement en mode 3D	Oui	≥ j1 et ≤ nombre de subdivisions total selon (Oy)

Tableau I.15 : Paramètres de désactivation

Il est possible de désactiver une ou plusieurs zones.

Les zones désactivées sont délimitées par un trait rouge sur la représentation graphique de Tasplaq.

L'onglet "Désactivation" comporte 2 assistants pour aider l'utilisateur dans la sélection de zones géométriques à désactiver : l'assistant "Maillage" et l'assistant "Polygones", disponibles en 3D seulement et détaillés dans les sous-chapitres suivants.

I.3.5.2. Assistant "Maillage"

Pour les projets en 3D, l'assistant "Maillage" est disponible en cliquant sur le bouton .

Cet assistant permet de définir à la souris les zones à désactiver et de transférer ces zones sélectionnées dans le projet : l'utilisateur doit ensuite saisir manuellement E_{plaque}, le coefficient de poisson ν et l'épaisseur h pour chaque zone.

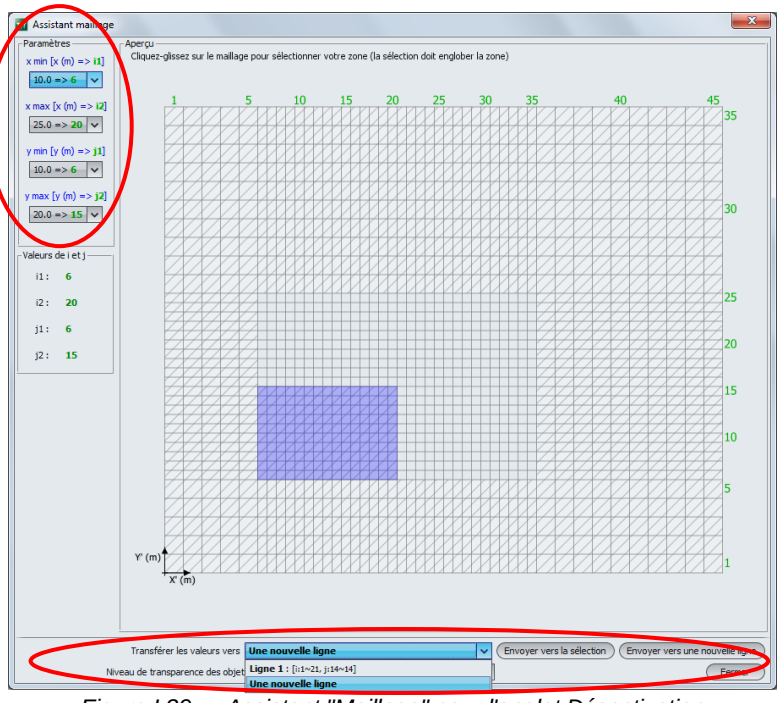

Assistant maillage
Paramètres
x min [x (m) => i1]
10.0 => 6
x max [x (m) => i2]
25.0 => 20
y min [y (m) => j1]
10.0 => 6
y max [y (m) => j2]
20.0 => 15
Valeurs de i et j
i1 : 6
i2 : 20
j1 : 6
j2 : 15
Aperçu
Cliquez-glissez sur le maillage pour sélectionner votre zone (la sélection doit englober la zone)
Transférer les valeurs vers
Une nouvelle ligne
Ligne 1 : [i1~21, j1~14]
Une nouvelle ligne
Envoyer vers la sélection
Envoyer vers une nouvelle ligne
Niveau de transparence des objets

Figure I.39 : Assistant "Maillage" pour l'onglet Désactivation

Pour utiliser l'assistant (une fois que vous l'avez activé) :

- cliquer-glisser la souris sur la zone graphique, de manière à couvrir la totalité de la première zone à sélectionner. Cette zone apparaît alors en surligné ;
- il est également possible de saisir/affiner les informations dans le cadre "Paramètres" sur la gauche de la fenêtre) ;

- pour transférer les informations obtenues dans l'assistant vers le projet, cliquer sur la liste déroulante "Transférer les valeurs vers" ;
- cliquer sur le bouton Envoyer vers la sélection ou sur le bouton Envoyer vers une nouvelle ligne selon que vous souhaitez transférer les valeurs vers une ligne préalablement créée et sélectionnée, ou vers une nouvelle ligne à créer ;
- répéter l'opération si vous avez d'autres zones à désactiver ;
- cliquer sur le bouton Fermer pour fermer l'assistant.

I.3.5.3. Assistant "Polygones"

Pour les projets en 3D, l'Assistant "Polygones" est disponible en cliquant sur le bouton .

Les polygones sont des objets temporaires dessinés par-dessus les autres objets graphiques. Ils permettent de mettre en évidence une zone pour faciliter ensuite le tracé.

- pour ajouter un polygone, cliquer sur le bouton en haut de l'assistant ;
- pour ajouter un point à un polygone, cliquez sur le bouton dans l'onglet du polygone voulu ;
- saisir les coordonnées des points X_{poly} et Y_{poly} (en m).

Il est possible d'importer les coordonnées des points des polygones depuis une application externe. Pour ceci, copier dans le presse-papiers Windows® les coordonnées issues d'un tableur Excel® par exemple, puis cliquer sur le bouton pour les importer dans l'assistant.

Une fois les coordonnées renseignées, cliquer sur le bouton Fermer pour fermer l'assistant.

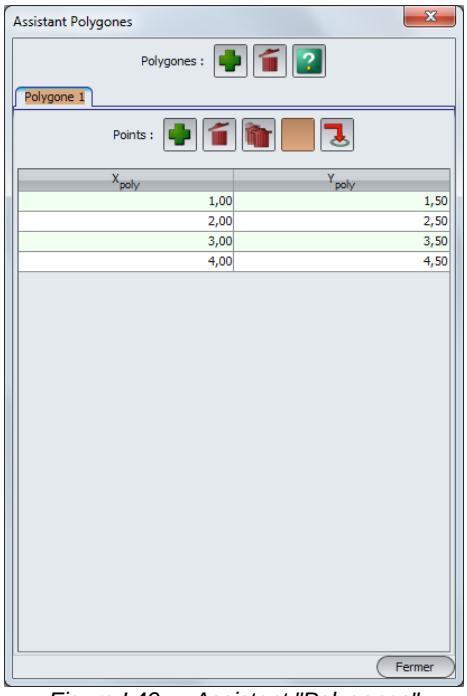


Figure I.40 : Assistant "Polygones"

Pour afficher les polygones sur la partie graphique de la fenêtre, cocher la case à cocher juste à côté du bouton d'accès à l'Assistant "Polygones" :

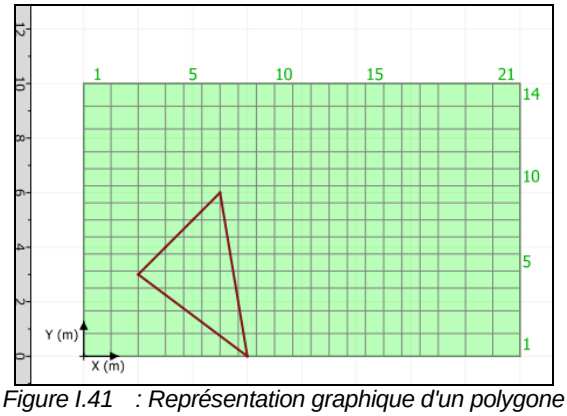


Figure I.41 : Représentation graphique d'un polygone

I.3.6. Onglet "Plaque"

Les propriétés de la plaque sont supposées être uniformes pour chaque élément. Chaque élément est caractérisé par son module d'Young "E_{plaque}", son coefficient de Poisson "ν" ainsi que par son épaisseur "h". Le principe d'affectation est identique à celui utilisé pour la désactivation des éléments : c'est-à-dire une affectation par groupes d'éléments.

Cette étape est obligatoire. Il faut définir au moins une zone dans le cas d'une plaque de caractéristiques homogènes.

I.3.6.1. Définition des propriétés de la plaque

On utilise là aussi la définition des groupes du type "i1 i2 j1 j2".

Les zones créées sont délimitées par un trait rouge sur le graphique de l'application.

Lorsque l'on veut définir une petite zone de caractéristiques différentes à l'intérieur d'une zone plus importante, on définit d'abord la zone la plus grande puis on définit la zone plus petite avec ses caractéristiques différentes. Les caractéristiques de la petite zone "écrasent" et remplacent celles définies précédemment.

D'autre part, le fait d'affecter des caractéristiques à une zone désactivée est sans incidence sur le calcul, puisque la zone est désactivée.

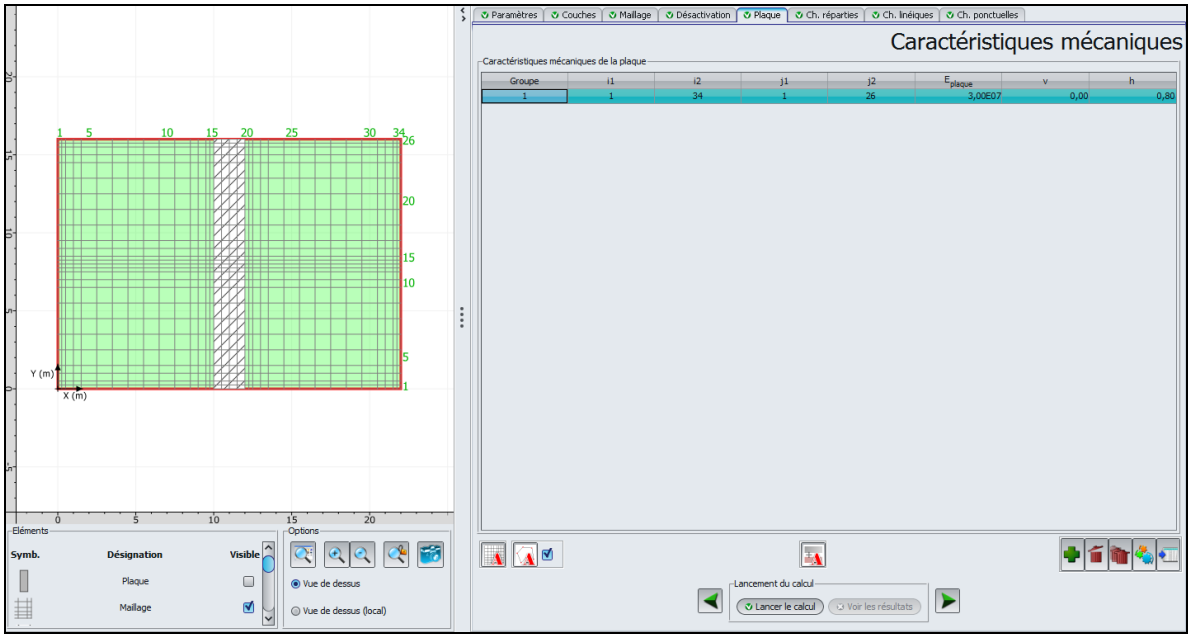


Figure I.42 : Onglet "Plaque"

Ci-dessous un récapitulatif des paramètres à saisir :

Désignation	Unité	Valeur par défaut	Condition d'affichage	Valeur obligatoire	Contrôles locaux
i1	-	Couvrent l'ensemble de la plaque	Toujours	Oui	> 0 et ≤ nombre de subdivisions total selon (Ox)
i2	-		Toujours	Oui	≥ i1 et ≤ nombre de subdivisions total selon (Ox)
j1	-		Uniquement en mode 3D	Oui	> 0 et ≤ nombre de subdivisions total selon (Oy)
j2	-		Uniquement en mode 3D	Oui	≥ j1 et ≤ nombre de subdivisions total selon (Oy)
$\mathbf{E_{plaque}}$: module d'Young de la plaque	kPa	-	Toujours	Oui	> 0
ν : coefficient de Poisson	-	-	Toujours	Oui	$0 \leq \nu < 0,5$
h : épaisseur de la plaque	m	-	Toujours	Oui	> 0

Tableau I.16 : Définition des caractéristiques mécaniques de la plaque

L'onglet "Plaque" comporte plusieurs assistants : 2 assistants pour aider l'utilisateur dans la sélection de zones géométriques (assistant "Maillage" et assistant "Polygones", disponibles en 3D seulement), et 1 assistant pour la définition du module de la plaque dans le cas d'une section mixte.

I.3.6.2. Assistants "Maillage" et "Polygones"

Ces 2 assistants, disponibles pour les modèles 3D uniquement, fonctionnent exactement comme les 2 assistants de l'onglet "Désactivation : voir chapitres I.3.5.2 et I.3.5.3.

I.3.6.3. Assistant "Paramètres équivalents d'une section mixte"

Le bouton "Assistant pour le calcul des sections mixtes" est accessible par le bouton .

Cet assistant permet de définir des propriétés mécaniques équivalentes, ou ce que l'on peut appeler des "paramètres homogénéisés", dans le cas où la section de la plaque n'est pas homogène. Il est à noter que le recours à cette technique peut s'avérer utile dans certains cas spécifiques :

- Modélisation d'une dalle stratifiée constituée d'une succession de couches en béton de caractéristiques mécaniques différentes ;
- Prise en compte d'une couche de forme très raide (par ex. graves cimentées) par homogénéisation avec la couche en béton.

Dans cet assistant, deux conditions de contact sont proposées, au choix :

- Contact parfait (collé) : cela se traduit par une continuité des déformations sur la hauteur de la section. Le produit d'inertie équivalent est obtenu par intégration par rapport au plan neutre global ;
- Contact glissant: dans ce cas, il n'y a pas de continuité des déformations à l'interface des couches, en revanche les courbures sont parallèles et le produit d'inertie équivalent est obtenu comme la somme des deux produits d'inertie « propres » à chaque section.

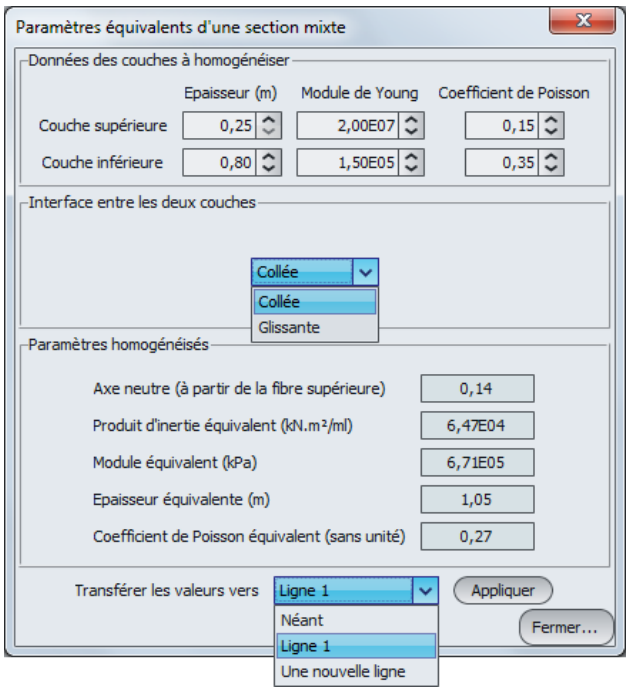


Figure I.43 : Assistant : Paramètres équivalents d'une section mixte

Les données à saisir sont les suivantes :

Désignation	Unité	Valeur par défaut	Condition d'affichage	Valeur obligatoire	Contrôles locaux
Epaisseur	m	-	Toujours	Oui, pour la couche supérieure et la couche inférieure	> 0
Module d'Young	kPa	-	Toujours		> 0
Coefficient de poisson ν	-	-	Toujours		$0 \leq \nu < 0,5$
Interface entre les 2 couches	-	Collée	Toujours	Oui	Valeurs possibles : • Collée • Glissante
Axe neutre (à partir de la fibre sup.)	m		Seulement si "Interface entre les couches" collée	-	Valeurs calculées automatiquement (non modifiables)
Produit d'inertie équivalent	kN.m²/ml		Toujours	-	
Module équivalent	kPa		Toujours	-	
Epaisseur équivalente	m		Toujours	-	
Coefficient de poisson équivalent	-		Toujours	-	

Tableau I.17 : Paramètres de l'assistant "Section mixte"

Si **Transférer les valeurs** est configuré sur "Une nouvelle ligne" ou sur une ligne préalablement créée et sélectionnée, le bouton Appliquer permet d'importer les données dans le projet.

Cliquer sur le bouton Fermer pour fermer l'assistant.

I.3.7. Onglet "Charges réparties"

Cet onglet permet la définition (dans le repère local de la plaque) d'une ou plusieurs charges réparties appliquées sur la plaque, ainsi que d'une ou plusieurs éventuelles raideurs surfaciques sous la plaque. Cette option est disponible pour les projets 3D et 2D.

Ces charges sont définies, comme précédemment, par groupe d'éléments.

Les informations à saisir sont différentes en fonction du type de calcul choisi.

Cette étape n'est pas obligatoire.

I.3.7.1. Charges réparties dans le cas de projets 3D

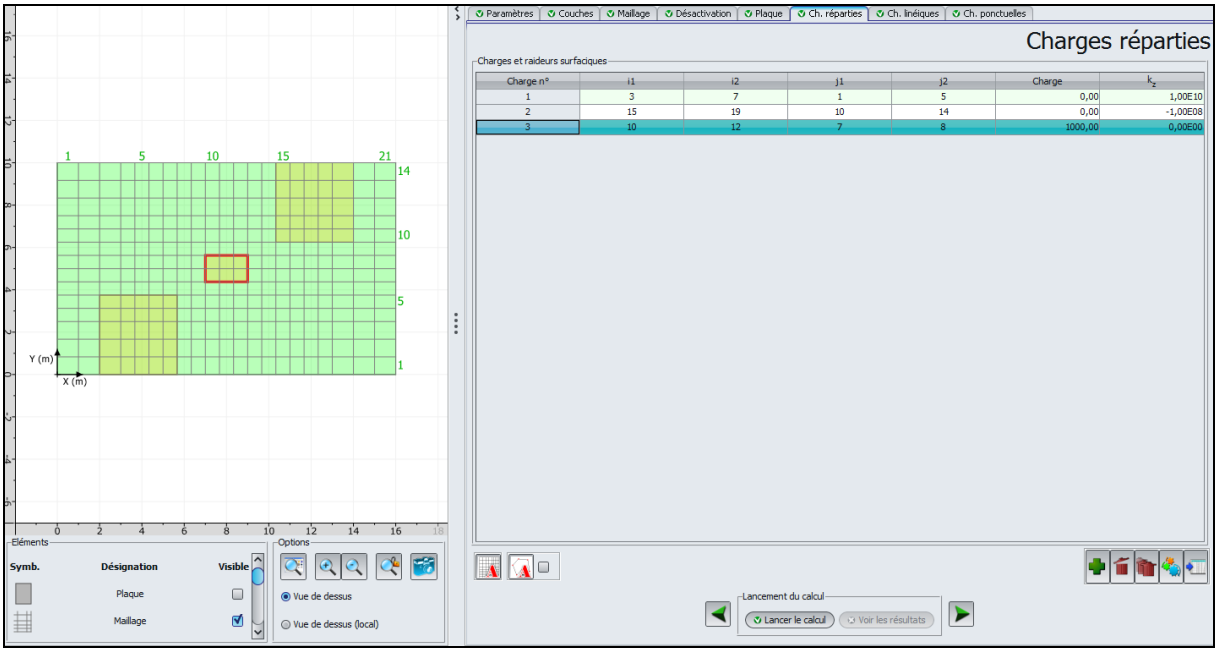


Figure I.44 : Onglet "Charges réparties" - projets 3D

Ci-dessous le tableau récapitulatif des paramètres des charges réparties en 3D :

Désignation	Unité	Valeur par défaut	Condition d'affichage	Valeur obligatoire	Contrôles locaux
i1	--	Couvrent l'ensemble de la plaque	Toujours	Oui	> 0 et ≤ nombre de subdivisions total selon (Ox)
i2	--		Toujours	Oui	≥ i1 et ≤ nombre de subdivisions total selon (Ox)
j1	--		Toujours	Oui	> 0 et ≤ nombre de subdivisions total selon (Oy)
j2	--		Toujours	Oui	≥ j1 et ≤ nombre de subdivisions total selon (Oy)
Charge : densité uniforme de la charge répartie	kPa	0	Toujours	Oui	L'une des 2 valeurs doit être non nulle
k_z : raideur* surfacique sous la plaque	kPa/m	0-	Toujours		

Tableau I.18 : Paramètres pour les charges réparties en 3D

k_z est une raideur surfacique en déplacement vertical sous la plaque (coefficient de réaction), représentative d'une distribution de ressorts juxtaposés par exemple. Cela peut constituer par exemple une manière alternative de représenter le sol support **au lieu** d'une représentation par un massif multicouche élastique.

Attention, si plusieurs chargements sont définis sur la même zone, ils s'additionnent. Le fonctionnement est le même pour les raideurs.

I.3.7.2. Charges réparties dans le cas de projets 2D

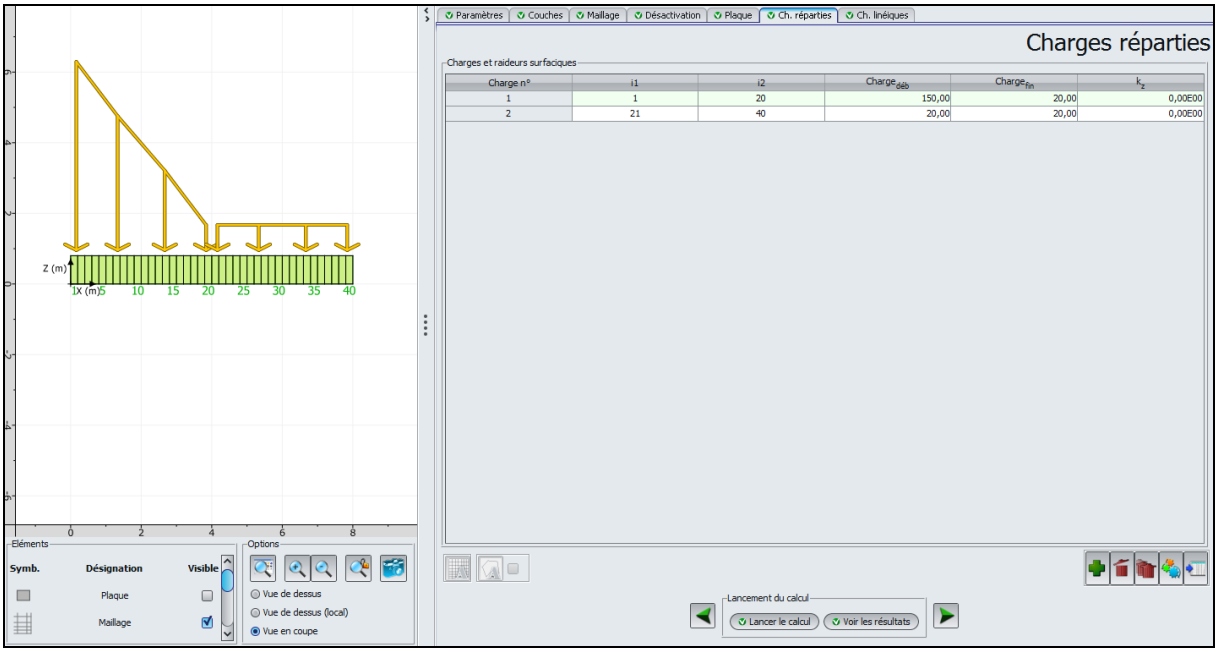


Figure I.45 : Onglet "Charges réparties" - projets 2D

Ci-dessous le tableau récapitulatif des paramètres des charges réparties en 2D :

Désignation	**Unité**	**Valeur par défaut**	**Condition d'affichage**	**Valeur obligatoire**	**Contrôles locaux**
i1	-	Couvrent l'ensemble de la plaque	Toujours	Oui	> 0 et ≤ nombre de subdivisions total selon (Ox)
i2	-		Toujours	Oui	≥ i1 et ≤ nombre de subdivisions total selon (Ox)
Charge$_{deb}$: valeur de la charge répartie au début de la zone)	kPa	-	Uniquement en déformations planes	-	Une au moins des valeurs affichées doit être non nulle
Charge$_{fin}$: valeur de la charge répartie à la fin de la zone	kPa	-	Uniquement en déformations planes	-	
Charge : densité uniforme de la charge répartie	kPa	-	Uniquement en axisymétrie	-	
K_z : raideur* surfacique sous la plaque	kPa/m	-	Toujours	-	

Tableau I.19 : Paramètres pour les charges réparties en 2D

Comme ci-dessus, si plusieurs chargements sont définis sur la même zone, ils s'additionnent. Le fonctionnement est le même pour les raideurs.

I.3.7.3. Assistants

Les 2 assistants "Maillage" et "Polygones", disponibles pour les modèles 3D uniquement, fonctionnent exactement comme les 2 assistants de l'onglet "Désactivation" : voir chapitres I.3.5.2 et I.3.5.3.

I.3.8. Onglet "Charges linéiques"

Cet onglet permet de définir (dans le repère local de la plaque) les charges linéiques pour les projets 2D et 3D. Les informations seront différentes en fonctions du type de calcul choisi.

Cette étape n'est pas obligatoire.

I.3.8.1. Charges et raideurs linéiques dans le cas de projets 3D

La plaque peut être soumise à une ou plusieurs charges linéiques selon l'axe Ox, caractérisées par leur numéros de noeuds **i1** et **i2** selon l'axe Ox, leur numéro de ligne **j**, leur charge et/ou leur raideur k_z.

Une charge linéique selon Ox est en effet parallèle à l'axe Ox, placée le long de la ligne d'indice j, et délimitée par 2 nœuds i1 et i2 : le principe de repérage de chaque groupe est ainsi similaire à celui utilisé pour les groupes d'éléments, sauf que l'on numérote ici des nœuds et non des éléments.

La charge et/ou la raideur kz sont appliquées au groupe de nœuds ainsi défini.

La plaque peut également être soumise à une ou plusieurs charges linéiques selon l'axe Oy, caractérisées de façon analogue par leur numéro de colonne **i,** les numéros de nœuds **j1** et **j2** selon Oy (soit un groupe de nœuds), leur charge et/ou leur raideur k_z (appliquées au groupe de nœuds ainsi délimité).

Les assistants décrits dans les sous-chapitres suivants permettent une définition graphique et aisée des charges linéiques.

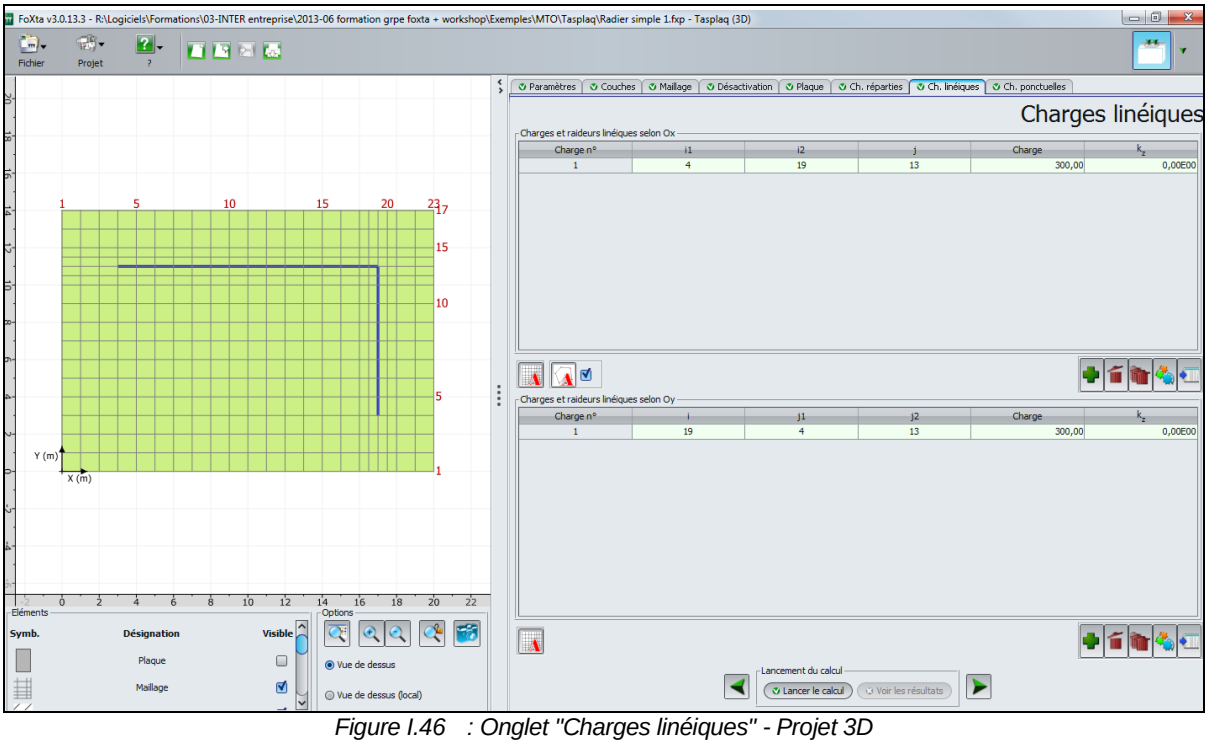


Figure I.46 : Onglet "Charges linéiques" - Projet 3D

I.3.8.2. Assistant maillage (selon Ox)

Pour les projets en 3D, l'assistant "Maillage" est disponible en cliquant sur le bouton .

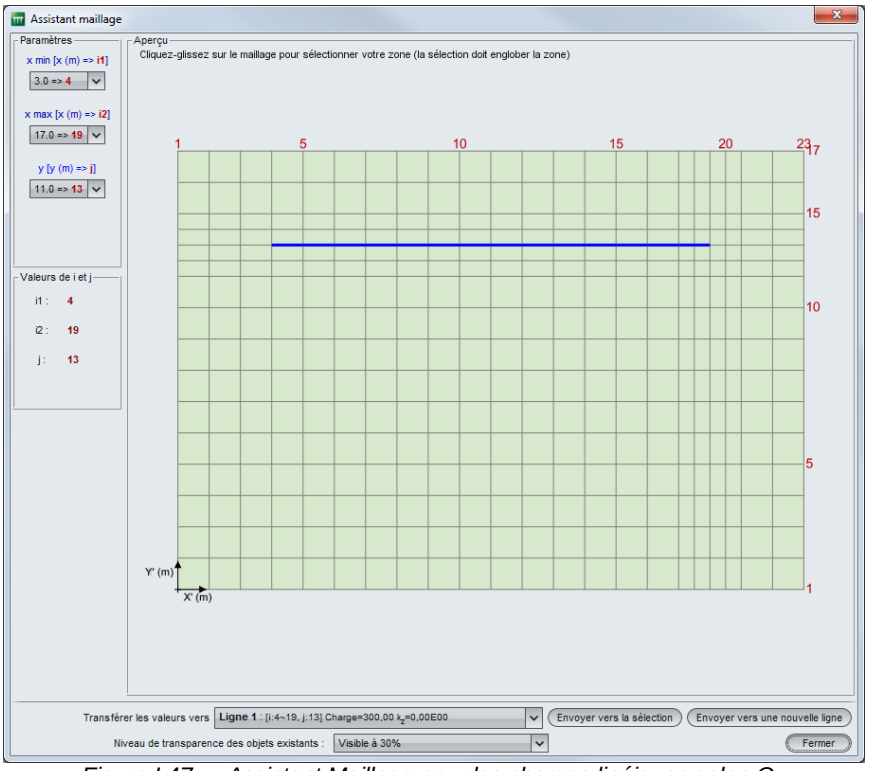


Figure I.47 : Assistant Maillage pour les charges linéiques selon Ox

Cet assistant permet de définir à la souris les zones soumises aux charges et aux raideurs linéiques selon Ox.

- cliquer-glisser la souris sur la zone graphique, de manière à suivre ou "entourer" le segment voulu, qui est obligatoirement parallèle à l'axe Ox (il apparaît en bleu) ;
- il est également possible de saisir/affiner les informations dans le cadre "Paramètres" sur la gauche de la fenêtre) ;
- pour transférer les informations obtenues dans l'assistant vers le projet, cliquer sur la liste déroulante "Transférer les valeurs vers" ;
- cliquer sur le bouton Envoyer vers la sélection ou sur le bouton Envoyer vers une nouvelle ligne selon que vous souhaitez transférer les valeurs vers une ligne préalablement créée et sélectionnée, ou vers une nouvelle ligne à créer ;
- répéter l'opération si vous avez d'autres charges linéiques selon Ox à définir ;
- cliquer sur le bouton Fermer pour fermer l'assistant.

I.3.8.3. Assistant "Polygones"

L'assistant "Polygones", accessible par le bouton , et disponible pour les modèles 3D uniquement, fonctionne comme l'assistant de l'onglet "Désactivation" : voir chapitres I.3.5.3.

I.3.8.4. Assistant maillage (selon Oy)

Pour les projets en 3D, l'assistant "Maillage" est disponible en cliquant sur le bouton .

Cet assistant permet de définir à la souris les zones soumises aux charges et aux raideurs linéiques selon Oy. Son fonctionnement est identique à celui de l'assistance maillage pour les charges linéiques selon Ox (chapitre I.3.8.2), mais les charges définies sont cette fois-ci être parallèles à l'axe Oy.

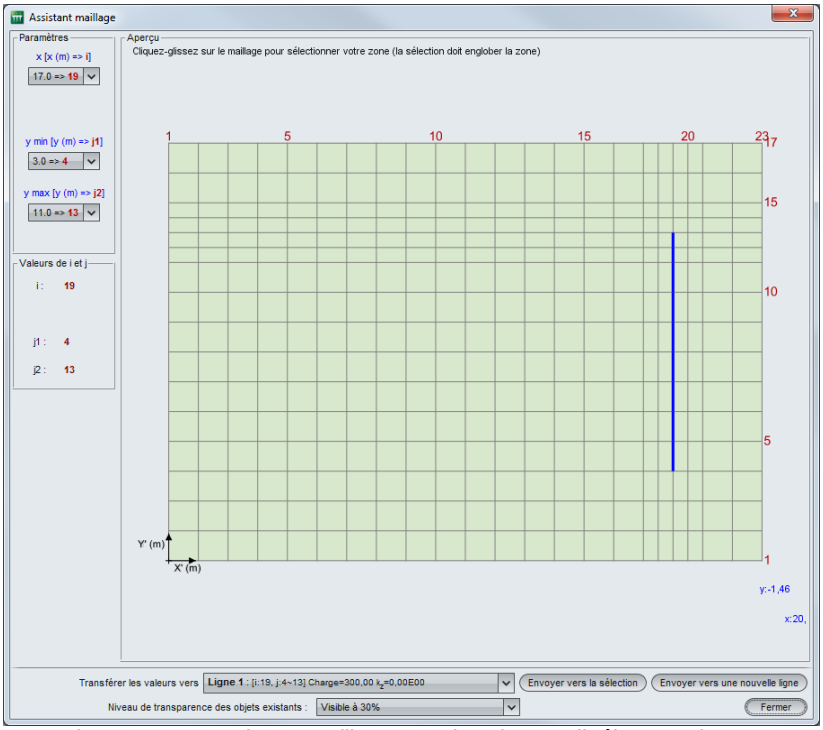

Assistant maillage
Paramètres
x [x (m) => i]
17.0 => 19
y min [y (m) => j1]
3.0 => 4
y max [y (m) => j2]
11.0 => 13
Valeurs de i et j
i : 19
j1 : 4
j2 : 13
Aperçu
Cliquez-glissez sur le maillage pour sélectionner votre zone (la sélection doit englober la zone)
Y' (m)
X' (m)
Transférer les valeurs vers
Ligne 1 : [i:19, j:4~13] Charge=300,00 kz=0,00E00
Envoyer vers la sélection
Envoyer vers une nouvelle ligne
Niveau de transparence des objets existants :
Visible à 30%
Fermer

Figure I.48 : Assistant Maillage pour les charges linéiques selon Oy

Ci-dessous le tableau récapitulatif des paramètres des charges linéiques en 3D :

Désignation	**Unité**	**Valeur par défaut**	**Condition d'affichage**	**Valeur obligatoire**	**Contrôles locaux**
i1 : Numéro du nœud le plus à gauche de la charge	-	1	Selon Ox	Oui	> 0 et ≤ nombre de nœuds total selon (Ox)
i2 : Numéro du nœud le plus à droite de la charge	-	1		Oui	≥ i1 et ≤ nombre de nœuds total selon (Ox)
j : Numéro de la ligne	-	1		Oui	≤ au nombre de nœuds selon (Oy)
j1 : Numéro du nœud le plus "bas" de la charge	-	1	Selon Oy	Oui	> 0 et ≤ nombre de nœuds selon (Oy)
j2 : Numéro du nœud le plus "haut" de la charge	-	1		Oui	≥ j1 et ≤ nombre de nœuds selon (Oy)
i : Numéro de la colonne	-	1		Oui	≤ au nombre de nœuds selon (Ox)
Charge : densité uniforme de la charge linéique	kN/ml	-	Toujours	Oui	Une de ces 2 valeurs doit être non nulle
k_z : raideur linéique sous la plaque	kN/m/ml	-	Toujours	Oui	

Tableau I.20 : Paramètres pour les charges linéiques en 3D

I.3.8.5. Charges et raideurs linéiques dans le cas de projets 2D

Pour un projet 2D; la plaque peut être soumise à une ou plusieurs charges linéiques, caractérisées par leur numéros de noeuds **i1** et **i2**. Une charge linéique et ses propriétés s'appliquent ainsi au groupe de nœuds délimité par les 2 nœuds i1 et i2 (et plus précisément à chacu n des nœuds du groupe ainsi défini).

Les propriétés d'une charge linéique sont les suivantes : la raideur linéique sous la plaque k_z, l'effort linéique par nœud F_z, le moment fléchissant linéique par nœud M_x (ou Mr) et la raideur linéique en rotation par nœud C_x (ou Cr).

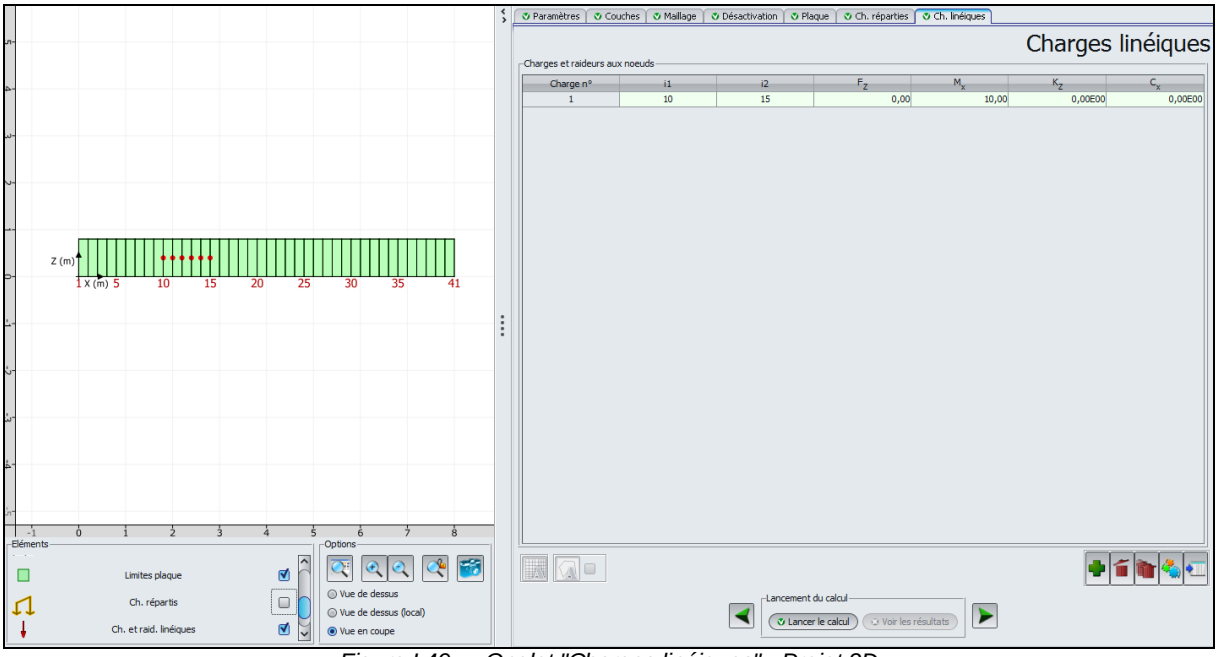


Figure I.49 : Onglet "Charges linéiques" - Projet 2D

Ci-dessous le tableau récapitulatif des paramètres des charges linéiques en 2D :

Désignation	**Unité**	**Valeur par défaut**	**Condition d'affichage**	**Valeur obligatoire**	**Contrôles locaux**
i1 : nœud le plus à gauche de la charge	-	-	Toujours	Oui	> 0 et ≤ nombre de noeuds total selon (Ox)
i2 : nœud le plus à droite de la charge	-	-	Toujours	Oui	≥ i1 et ≤ nombre de noeuds total selon (Ox)
F_z : effort linéique par nœud	kN/ml	-	Toujours	Oui	L'une au moins des 4 valeurs affichées doit être non nulle
M_x : moment fléchissant linéique par nœud	kN.m/ml	-	En déformations planes	Oui	
M_r : moment fléchissant linéique radial par nœud	kN.m/ml	-	En axisymétrie	Oui	
K_z : raideur linéique par nœud	kN/m/ml	-	Toujours	Oui	
C_x : raideur linéique en rotation par nœud	kN.m/rad/ml	-	En déformations planes	Oui	
C_r : raideur linéique en rotation par nœud	kN.m/rad/ml	-	En axisymétrie	Oui	

Tableau I.21 : Paramètres pour les charges linéiques en 2D

I.3.9. Onglet "Charges ponctuelles"

Cet onglet n'est visible que pour les projets 3D. Cette étape n'est pas obligatoire.

Chaque chargement ponctuel est constitué par : un effort ponctuel F_z, deux moments de flexion M_x et M_y, une raideur ponctuelle par nœud k_z, deux raideurs en rotations C_x et C_y. Ces données sont affectées par groupe de nœuds. Le principe de repérage de chaque groupe est similaire à celui utilisé pour les groupes d'éléments, sauf que l'on numérote ici des nœuds et non des éléments.

Les valeurs saisies s'appliquent sur chacun des nœuds du groupe défini.

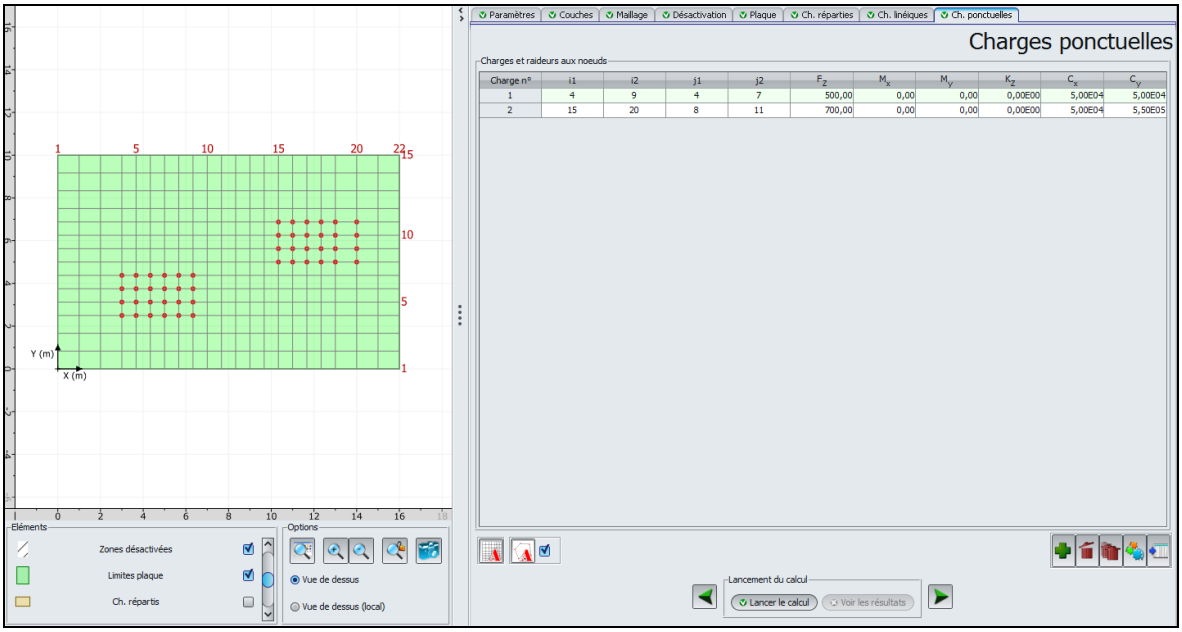


Figure I.50 : Onglet "Charges ponctuelles"

Ci-dessous un récapitulatif des paramètres à saisir :

Désignation	**Unité**	**Valeur par défaut**	**Condition d'affichage**	**Valeur obligatoire**	**Contrôles locaux**
i1 : nœud le plus à gauche du groupe de noeuds	-	1	Toujours (3D)	Oui	> 0 et ≤ nombre de subdivisions total selon (Ox) + 1
i2 : nœud le plus à droite du groupe de noeuds	-	1	Toujours (3D)	Oui	≥ i1 et ≤ nombre de subdivisions total selon (Ox) +1
j1 : nœud le plus "bas" du groupe de noeuds	-	1	Toujours (3D)	Oui	> 0 et ≤ nombre de subdivisions total selon (Oy) +1
j2 : nœud le plus "haut" du groupe de noeuds	-	1	Toujours (3D)	Oui	≥ j1 et ≤ nombre de subdivisions total selon (Oy) +1
F_z : effort ponctuel	kN	-	Toujours (3D)	Oui	Au moins une de ces données doit être non nulle
M_x : moment autour de l'axe (-Oy)	kN.m	-	Toujours (3D)	Oui	
M_y : moment autour de l'axe (Ox)	kN.m	-	Toujours (3D)	Oui	
K_z : raideur ponctuelle par nœud	kN/m	-	Toujours (3D)	Oui	
C_x : raideur en rotation par rapport à (-Oy)	kN.m/rad	-	Toujours (3D)	Oui	
C_y : raideur en rotation par rapport à Ox	kN.m/rad	-	Toujours (3D)	Oui	

Tableau I.22 : Paramètres pour les charges ponctuelles

I.3.9.1. Assistants "Maillage"

Pour les projets en 3D, l'assistant "Maillage" est disponible en cliquant sur le bouton .
Cet assistant permet de définir à la souris les groupes de noeuds soumis aux charges ponctuelles.

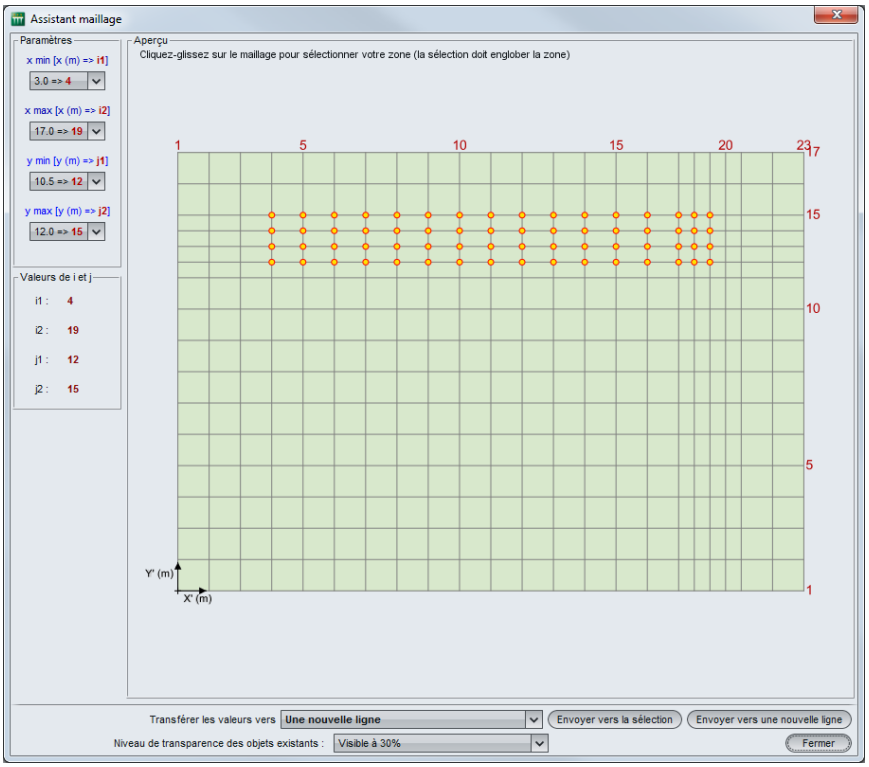


Figure I.51 : Assistant "Maillage" pour les charges ponctuelles

- Cliquer-glisser la souris sur la zone graphique, de manière à couvrir la totalité du groupe de noeuds à sélectionner. Les nœuds sélectionnés sont mis en évidence sur la zone graphique ;
- il est également possible de saisir/affiner les informations dans le cadre "Paramètres" sur la gauche de la fenêtre) ;
- pour transférer les informations obtenues dans l'assistant vers le projet, cliquer sur la liste déroulante "Transférer les valeurs vers" ;
- cliquer sur le bouton Envoyer vers la sélection ou sur le bouton Envoyer vers une nouvelle ligne selon que vous souhaitez transférer les valeurs vers une ligne préalablement créée et sélectionnée, ou vers une nouvelle ligne à créer ;
- répéter l'opération si vous avez d'autres zones à définir ;
- cliquer sur le bouton Fermer pour fermer l'assistant.

Il restera à saisir manuellement les efforts et raideurs à affecter aux groupes de nœuds ainsi définis.

I.3.9.2. Assistant "Polygones"

Pour les projets en 3D, l'Assistant "Polygones" est disponible en cliquant sur le bouton .

L'assistant "Polygones", disponible pour les modèles 3D uniquement, et accessible en cliquant sur le bouton , fonctionne comme l'assistant de l'onglet "Désactivation" : voir chapitres I.3.5.3.

*Edition juillet 2013 - **Copyright © Foxta v3 - 2011***

I.3.10. Onglet "Décollement/Plastification"

Cet onglet apparaît si l'option "Gestion manuelle du décollement/plastification des nœuds" est cochée dans le cadre "Paramètres avancés" de l'onglet "Paramètres", quel que soit le type de projet (2D ou 3D).

Cet onglet permet d'imposer manuellement :

- Le décollement de certains nœuds : la réaction du sol (massif multicouche) est alors égale à 0 et le tassement du sol n'est plus égal au déplacement vertical de la plaque. D'une manière générale, cette option permet de supprimer le contact entre la plaque et le sol sous une zone prédéfinie. Cela peut être utile dans la simulation de certains particuliers, comme celui où la plaque n'est que partiellement appuyée sur le sol support comme le schématise la figure ci-dessous.

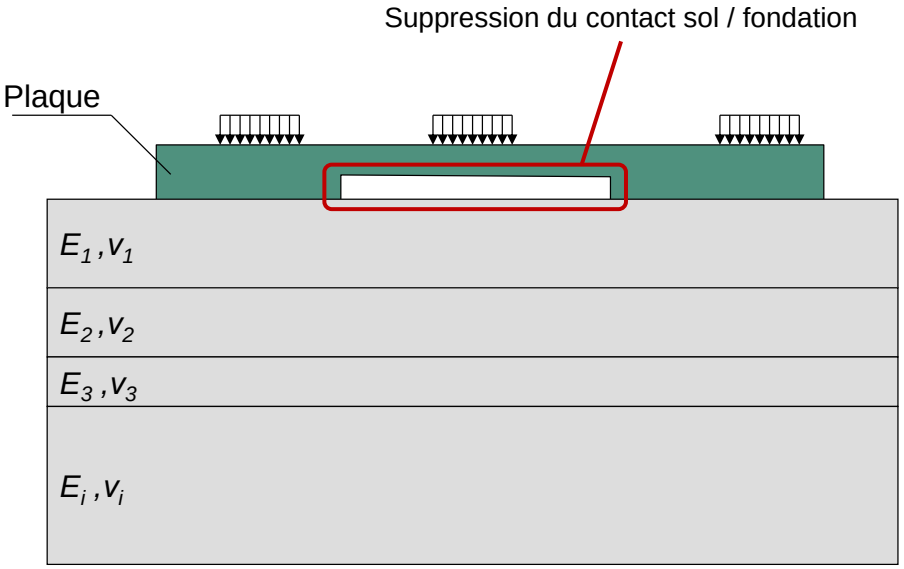


Figure I.52 : Cas d'une plaque partiellement appuyée sur le sol

- La plastification de certains nœuds : la réaction du sol (massif multicouche) imposée est égale au seuil de plastification défini dans l'onglet "Paramètres". L'égalité entre le tassement du sol et le déplacement vertical de la plaque est toujours assurée.

Il est possible de combiner la gestion "manuelle du décollement/plastification" avec l'option "Calcul automatique" : en effet, dans le cas où l'option "Calcul automatique" est activée, TASPLAQ contrôle le décollement/la plastification au droit de tous les nœuds, sauf ceux qui auront été déclarés comme décollés/plastifiés manuellement par l'utilisateur.

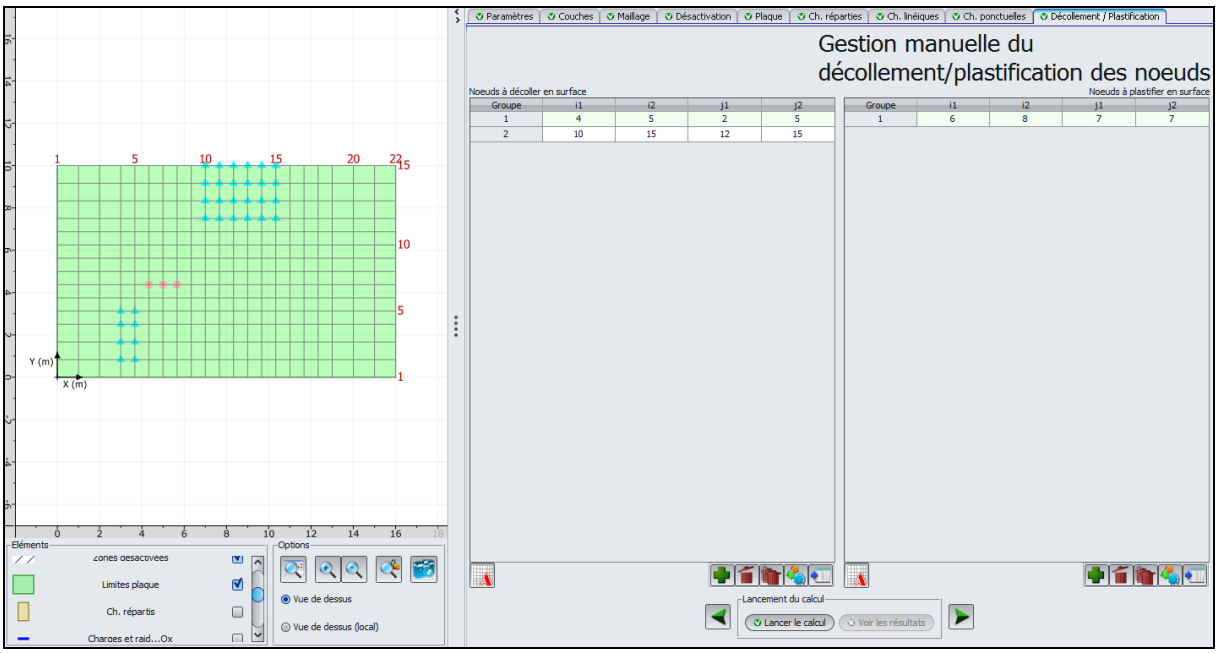


Figure I.53 : Onglet "Décollement/plastification"

Cette option correspond à une utilisation avancée de Tasplaq.

Evidemment, cette étape n'est pas obligatoire.

Si cette option n'est pas activée, le nombre de nœuds décollés et plastifiés « manuellement » est remis à zéro.

Les types de données à compléter sont les mêmes pour les 2 cadres : nœuds à décoller en surface et nœuds à plastifier en surface. Par contre, les groupes de nœuds définis dans les 2 cadres peuvent être différents.

L'assistant "Maillage", disponible pour les modèles 3D uniquement, fonctionne comme l'assistant de l'onglet "Charges ponctuelles" : voir chapitre I.3.9.1.

Désignation	Unité	Valeur par défaut	Condition d'affichage	Valeur obligatoire	Contrôles locaux
i1	-	-	Toujours	Oui	> 0 et ≤ nombre de subdivisions total selon (Ox) + 1
i2	-	-	Toujours	Oui	≥ i1 et ≤ nombre de subdivisions total selon (Ox) +1
j1	-	-	Uniquement en mode 3D	Oui	>0 et ≤ nombre de subdivisions total selon (Oy) +1
j2	-	-	Uniquement en mode 3D	Oui	≥ j1 et ≤ nombre de subdivisions total selon (Oy) +1

Tableau I.23 : Paramètres de gestion manuelle du décollement/plastification des nœuds

I.3.11. Calcul et résultats

I.3.11.1. Calcul

Le calcul peut se lancer depuis n'importe quel onglet à partir du moment où les onglets sont correctement renseignés, c'est-à-dire lorsqu'ils sont tous marqués d'une croix verte (par exemple : Couches).

Ceux-ci sont marqués d'une croix rouge (par exemple : Couches) tant qu'ils ne sont pas complétés correctement (données manquantes ou non conformes aux valeurs attendues).
Pour lancer le calcul, cliquer sur le bouton Lancer le calcul.

Aucune limite numérique sur la taille du modèle n'est considérée dans le programme. Cependant, on peut être limité par la taille maximale de mémoire pouvant être alloué au programme sous Microsoft Windows® : on estime cette limite à 4000 éléments activés.

Le processus général de calcul est mené selon les étapes suivantes :

1. Lecture des données – Ouverture des fichiers ;
2. Initialisation des variables ;
3. Construction du maillage ;
4. Assemblage du vecteur chargement extérieur ;
5. Assemblage de la matrice de rigidité de la plaque ;
6. Calcul de la matrice de souplesse du sol (si massif multicouche il y a) ;
7. Constitution du système d'équations global ;
8. Résolution matricielle ;
9. Calcul des déplacements et des efforts dans la plaque ;
10. Calcul des tassements et des réactions en tout point (si massif multicouche élastique il y a) ;
11. Contrôle du décollement/plastification en surface (si positif retour à l'étape 4) ;
12. Génération des fichiers de sortie (résultats, graphiques) ;
13. Fin du programme.

L'utilisateur est informé du déroulement et de l'avancement des différentes étapes du calcul dans la fenêtre suivante :

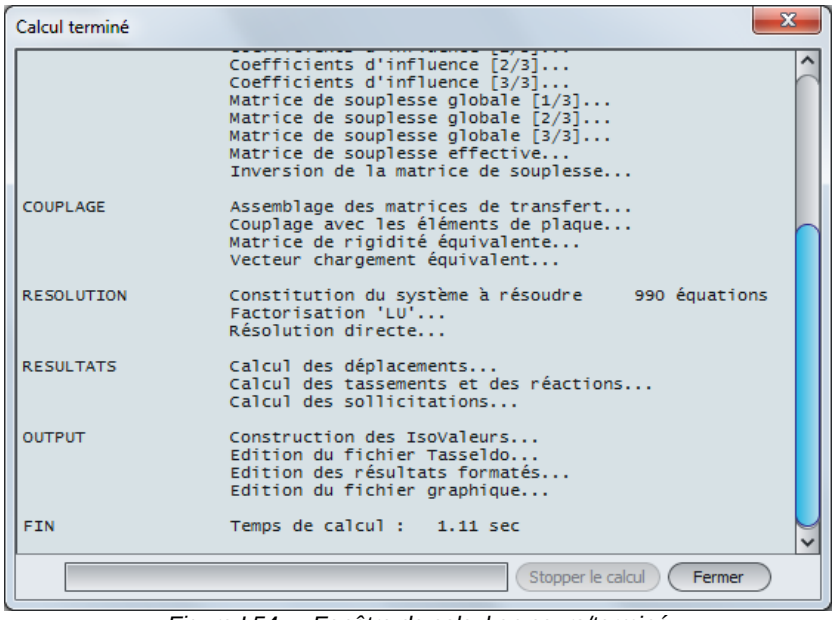


Figure I.54 : Fenêtre de calcul en cours/terminé

Pour afficher les résultats du calcul, cliquer sur le bouton Fermer puis Voir les résultats.

I.3.11.2. Résultats disponibles pour les projets 3D

La fenêtre ci-dessous permet de choisir le type de résultats à afficher. En effet, différents types de résultats sont accessibles en 3D :

- résultats numériques : résultats formatés et tableau de résultats ;
- résultats graphiques : coupes graphiques, nuage de points (en 3D seulement), graphiques 3D (en 3D seulement) ;
- assistants externes : déshomogénéisation (en 3D seulement), exportation vers Tasseldo.

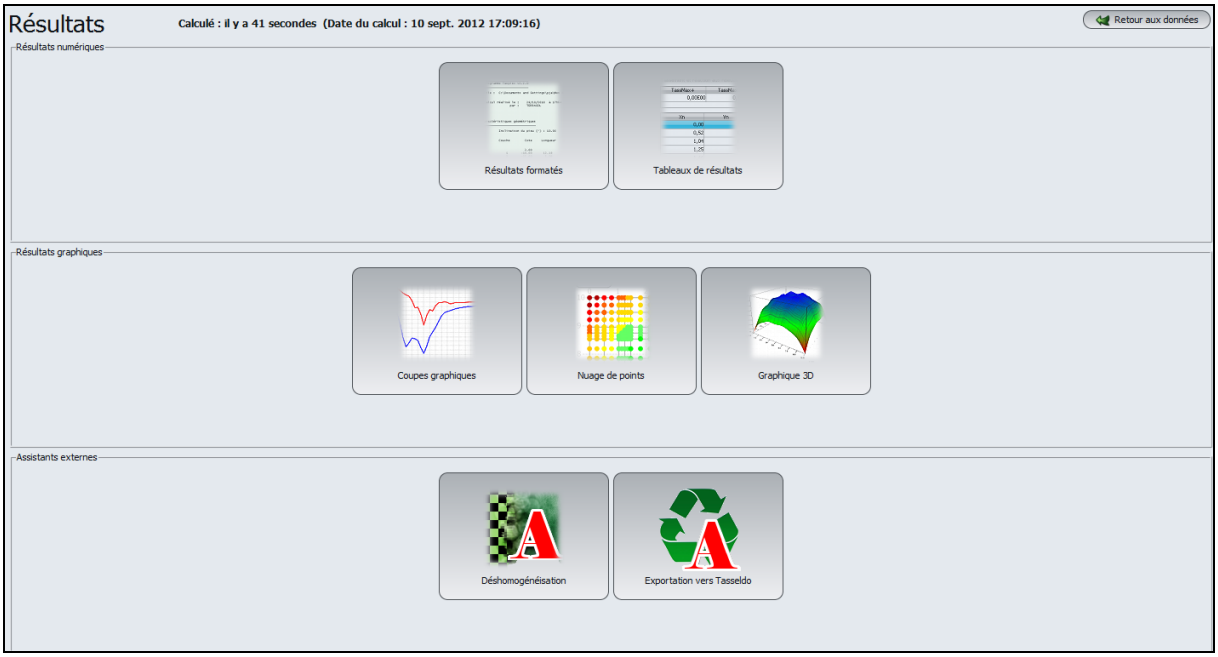


Figure I.55 : Fenêtre des résultats – Projet 3D

I.3.11.2.1. Résultats numériques : résultat formatés

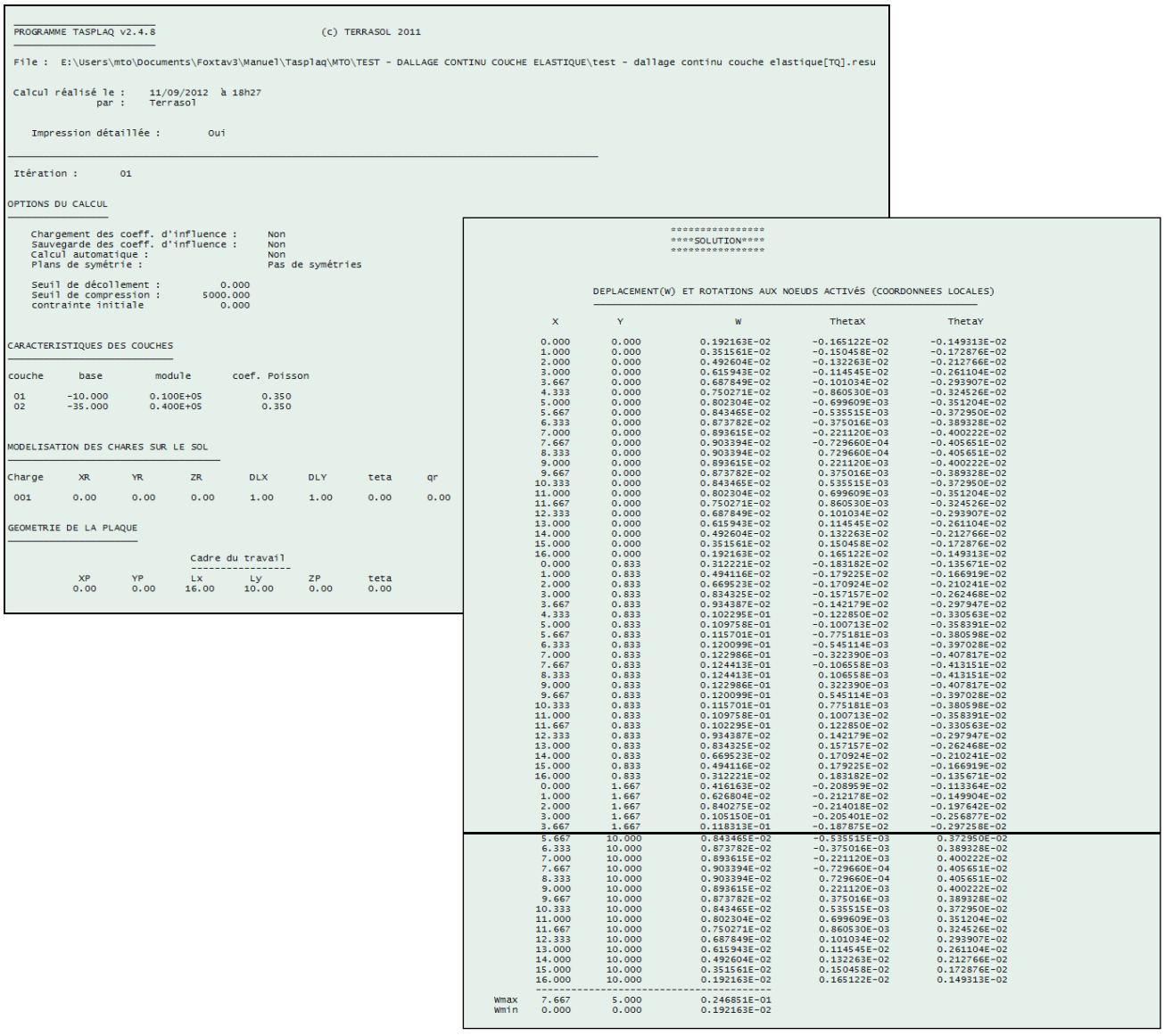
Les résultats numériques formatés contiennent :

- Un rappel des données : paramètres généraux, données de sol, géométrie et décomposition de la plaque, caractéristiques de la plaque, points de calcul, charges appliquées (et leur décomposition).
- Les résultats :
  - Les déplacements et rotations aux nœuds activés (coordonnées **locales**) : pour chaque noeud (x, y), Tasplaq indique :
    - le déplacement w (m), positif vers le bas ;
    - les rotations θ_x et θ_y (°).

    Sous ce tableau, il est précisé les valeurs maximales et minimales w_{max} et le w_{min} (m), et les coordonnées des nœuds auxquels elles sont obtenues.
  - La réaction du sol et le tassement sous les nœuds (coordonnées **globales**) : pour chaque nœud, Tasplaq indique :
    - ses coordonnées dans le repère global ;
    - son statut (plastifié ou décollé) ;
    - la pression (kPa) : réaction du sol sous la plaque ;
    - le tassement (m) : positif vers le bas ;
    - la flèche (m) : positive vers le bas.

En bas de ce tableau, il est précisé :

- les valeurs maximales et minimales w_{max} et w_{min} (m) avec les coordonnées des nœuds auxquels elles sont obtenues ;,
- les valeurs maximales et minimales du tassement (m) avec les coordonnées des nœuds auxquels elles sont obtenues ;
- les valeurs maximales et minimales de la pression (kPa) avec les coordonnées des nœuds auxquels elles sont obtenues ;
- la charge totale transmise au sol (kN).



PROGRAMME TASPLAQ v2.4.8 (c) TERRASOL 2011

File : E:\Users\mto\Documents\Foxtav3\Manuel\Tasplaq\MTO\TEST - DALLAGE CONTINU COUCHE ELASTIQUE\test - dallage continu couche elastique[TQ].resu

Calcul réalisé le : 11/09/2012 à 18h27
par : Terrasol

Impression détaillée : Oui

Itération : 01

OPTIONS DU CALCUL

Chargement des coeff. d'influence : Non
Sauvegarde des coeff. d'influence : Non
Calcul automatique : Non
Plans de symétrie : Pas de symétries

Seuil de décollement : 0.000
Seuil de compression : 5000.000
contrainte initiale 0.000

CARACTERISTIQUES DES COUCHES

couche	base	module	coef. Poisson
01	-10.000	0.100E+05	0.350
02	-35.000	0.400E+05	0.350

MODELISATION DES CHARES SUR LE SOL

Charge	XR	YR	ZR	DLX	DLY	teta	qr
001	0.00	0.00	0.00	1.00	1.00	0.00	0.00

GEOMETRIE DE LA PLAQUE

Cadre du travail

XP	YP	LX	LY	ZP	teta
0.00	0.00	16.00	10.00	0.00	0.00

****SOLUTION****

DEPLACEMENT(W) ET ROTATIONS AUX NOEUDS ACTIVéS (COORDONNEES LOCALES)

	X	Y	W	ThetaX	ThetaY
	0.000	0.000	0.192163E-02	-0.165122E-02	-0.149313E-02
	1.000	0.000	0.351561E-02	-0.150458E-02	-0.172876E-02
	2.000	0.000	0.492604E-02	-0.132263E-02	-0.212766E-02
	3.000	0.000	0.615943E-02	-0.114545E-02	-0.261104E-02
	3.667	0.000	0.687849E-02	-0.101034E-02	-0.293907E-02
	4.333	0.000	0.750271E-02	-0.860530E-03	-0.324526E-02
	5.000	0.000	0.802304E-02	-0.699609E-03	-0.351204E-02
	5.667	0.000	0.843465E-02	-0.535515E-03	-0.372950E-02
	6.333	0.000	0.873782E-02	-0.375016E-03	-0.389328E-02
	7.000	0.000	0.893615E-02	-0.221120E-03	-0.400222E-02
	7.667	0.000	0.903394E-02	-0.729660E-04	-0.405651E-02
	8.333	0.000	0.903394E-02	0.729660E-04	-0.405651E-02
	9.000	0.000	0.893615E-02	0.221120E-03	-0.400222E-02
	9.667	0.000	0.873782E-02	0.375016E-03	-0.389328E-02
	10.333	0.000	0.843465E-02	0.535515E-03	-0.372950E-02
	11.000	0.000	0.802304E-02	0.699609E-03	-0.351204E-02
	11.667	0.000	0.750271E-02	0.860530E-03	-0.324526E-02
	12.333	0.000	0.687849E-02	0.101034E-02	-0.293907E-02
	13.000	0.000	0.615943E-02	0.114545E-02	-0.261104E-02
	14.000	0.000	0.492604E-02	0.132263E-02	-0.212766E-02
	15.000	0.000	0.351561E-02	0.150458E-02	-0.172876E-02
	16.000	0.000	0.192163E-02	0.165122E-02	-0.149313E-02
	0.000	0.833	0.312221E-02	-0.183182E-02	-0.135671E-02
	1.000	0.833	0.494116E-02	-0.179225E-02	-0.166919E-02
	2.000	0.833	0.669523E-02	-0.170924E-02	-0.210241E-02
	3.000	0.833	0.834325E-02	-0.157157E-02	-0.262468E-02
	3.667	0.833	0.934387E-02	-0.142179E-02	-0.297947E-02
	4.333	0.833	0.102295E-01	-0.122850E-02	-0.330563E-02
	5.000	0.833	0.109758E-01	-0.100713E-02	-0.358391E-02
	5.667	0.833	0.115701E-01	-0.775181E-03	-0.380598E-02
	6.333	0.833	0.120099E-01	-0.545114E-03	-0.397028E-02
	7.000	0.833	0.122986E-01	-0.322390E-03	-0.407817E-02
	7.667	0.833	0.124413E-01	-0.106558E-03	-0.413151E-02
	8.333	0.833	0.124413E-01	0.106558E-03	-0.413151E-02
	9.000	0.833	0.122986E-01	0.322390E-03	-0.407817E-02
	9.667	0.833	0.120099E-01	0.545114E-03	-0.397028E-02
	10.333	0.833	0.115701E-01	0.775181E-03	-0.380598E-02
	11.000	0.833	0.109758E-01	0.100713E-02	-0.358391E-02
	11.667	0.833	0.102295E-01	0.122850E-02	-0.330563E-02
	12.333	0.833	0.934387E-02	0.142179E-02	-0.297947E-02
	13.000	0.833	0.834325E-02	0.157157E-02	-0.262468E-02
	14.000	0.833	0.669523E-02	0.170924E-02	-0.210241E-02
	15.000	0.833	0.494116E-02	0.179225E-02	-0.166919E-02
	16.000	0.833	0.312221E-02	0.183182E-02	-0.135671E-02
	0.000	1.667	0.416163E-02	-0.208959E-02	-0.113364E-02
	1.000	1.667	0.626804E-02	-0.212178E-02	-0.149904E-02
	2.000	1.667	0.840275E-02	-0.214018E-02	-0.197642E-02
	3.000	1.667	0.105150E-01	-0.205401E-02	-0.256877E-02
	3.667	1.667	0.118313E-01	-0.187875E-02	-0.297258E-02
	5.667	10.000	0.843465E-02	-0.535515E-03	0.372950E-02
	6.333	10.000	0.873782E-02	-0.375016E-03	0.389328E-02
	7.000	10.000	0.893615E-02	-0.221120E-03	0.400222E-02
	7.667	10.000	0.903394E-02	-0.729660E-04	0.405651E-02
	8.333	10.000	0.903394E-02	0.729660E-04	0.405651E-02
	9.000	10.000	0.893615E-02	0.221120E-03	0.400222E-02
	9.667	10.000	0.873782E-02	0.375016E-03	0.389328E-02
	10.333	10.000	0.843465E-02	0.535515E-03	0.372950E-02
	11.000	10.000	0.802304E-02	0.699609E-03	0.351204E-02
	11.667	10.000	0.750271E-02	0.860530E-03	0.324526E-02
	12.333	10.000	0.687849E-02	0.101034E-02	0.293907E-02
	13.000	10.000	0.615943E-02	0.114545E-02	0.261104E-02
	14.000	10.000	0.492604E-02	0.132263E-02	0.212766E-02
	15.000	10.000	0.351561E-02	0.150458E-02	0.172876E-02
	16.000	10.000	0.192163E-02	0.165122E-02	0.149313E-02
Wmax	7.667	5.000	0.246851E-01		
Wmin	0.000	0.000	0.192163E-02		

Figure I.56 : Résultats numériques formatés – Projet 3D

- Les moments fléchissants et les moments de torsion (coordonnées **locales**) : pour chaque point X_m et Y_m, Tasplaq indique :
  - le moment fléchissant M_x (kN.m/ml) ;
  - le moment fléchissant M_y (kN.m/ml) ;
  - le moment de torsion M_{xy} (kN.m/ml).

  En bas de ce tableau, il est précisé les valeurs maximales et minimales de chaque moment, avec les coordonnées des points auxquels elles ont été obtenues.

- Les efforts tranchants (coordonnées **locales**) : pour chaque point X_t et Y_t, Tasplaq indique :
  - l'effort tranchant T_x selon x (kN/ml)
  - l'effort tranchant T_y selon y (kN/ml).

  En bas de ce tableau, il est précisé les valeurs maximales et minimales de chaque effort tranchant, avec les coordonnées des points auxquels elles ont été obtenues.
- Les réactions des appuis surfaciques (coordonnées **locales**) : pour chaque point X_t et Y_t, Tasplaq indique :
  - la réaction surfacique rz (kPa).

  En bas de ce tableau, il est précisé la résultante (kN) des réactions surfaciques mobilisées au droit de chacune des zones rectangulaires (groupes d'éléments) définies par l'utilisateur.
- Les réactions des appuis ponctuels : il est précisé la résultante (kN) des réactions linéiques mobilisées au droit de chacune des zones linéiques (groupes d'éléments) définies par l'utilisateur.

Réaction dans les appuis surfaciques

Elément	Xt	Yt	Réaction	Statut
0001	0.150	0.200	0.000	****
0002	0.450	0.200	0.000	****
0003	0.750	0.200	0.000	****
0004	1.050	0.200	0.000	****
0005	1.350	0.200	0.000	****
0006	1.650	0.200	0.000	****
0007	1.950	0.200	0.000	****
0008	2.250	0.200	0.000	****
0009	2.550	0.200	0.000	****
0010	2.850	0.200	0.000	****
0021	4.650	0.200	0.000	****
0022	4.950	0.200	0.000	****
0023	5.250	0.200	0.000	****
0024	5.550	0.200	0.000	****
0025	5.850	0.200	0.000	****
0026	6.150	0.200	0.000	****
0027	6.450	0.200	0.000	****
0028	6.750	0.200	0.000	****
0029	7.050	0.200	0.000	****
0030	7.350	0.200	0.000	****

Figure I.57 : Résultats numériques formatés : Réaction dans les appuis surfaciques

I.3.11.2.2. Résultats numériques : tableaux de résultats

Il s'agit globalement des mêmes résultats que ceux détaillés pour les résultats formatés au chapitre précédent mais présentés cette fois sous la forme de tableaux, et sans la partie de rappel des données. Certains résultats ne sont toutefois pas affichés dans ces tableaux (comme les rotations et les efforts tranchants par exemple).

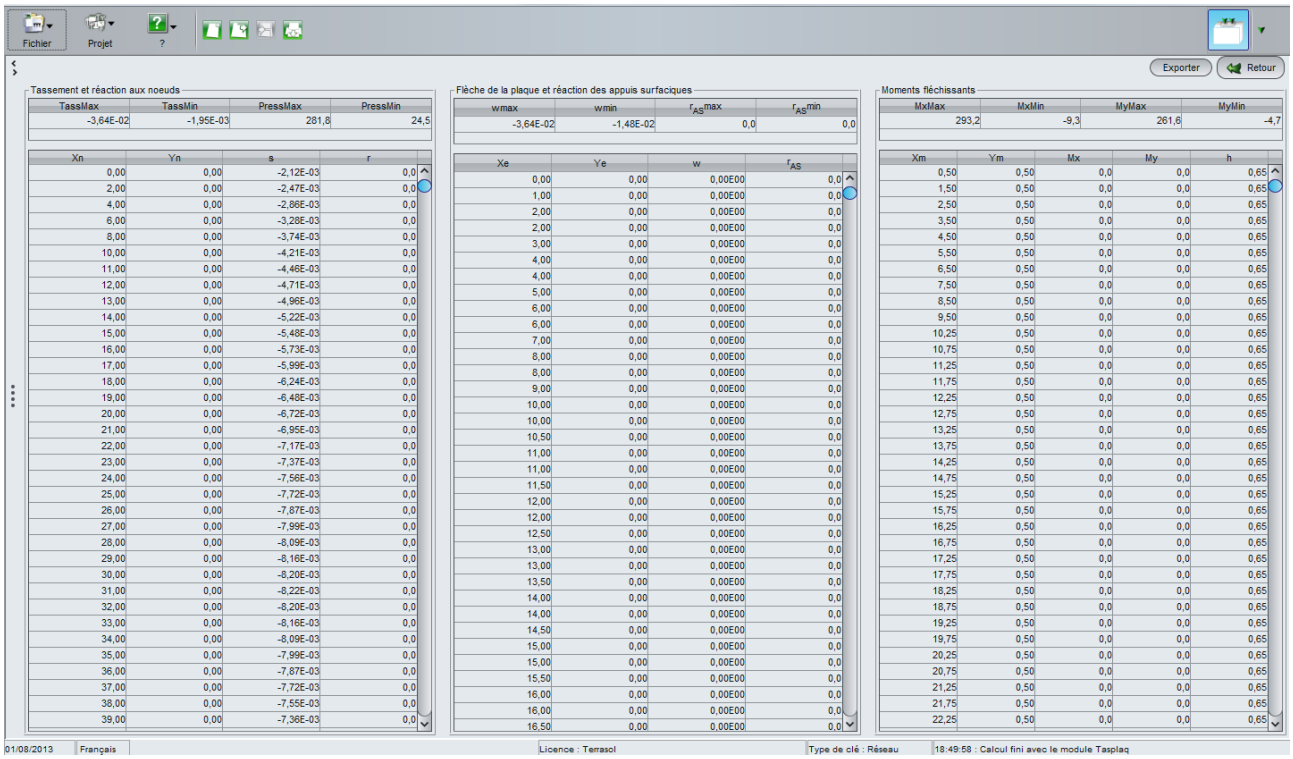


Figure I.58 : Résultats numériques : Tableau de résultats

- Le premier tableau (à gauche) contient les "tassements et réactions aux noeuds" au droit des points de calcul en fonction de X_n et Y_n (m).
  La première ligne indique les valeurs extrêmes des tassements et de la réaction aux nœuds.

Désignation	**Unité**	**Condition d'affichage**
TassMax : valeur maximum du tassement (négatif vers le bas)	m	Toujours
TassMin : valeur minimum du tassement (négatif vers le bas)	m	Toujours
$Press_{max}$: valeur maximum de la réaction aux nœuds	kPa	Toujours
$Press_{min}$: valeur minimum de la réaction aux nœuds	kPa	Toujours
X_n : abscisse du point de calcul	m	Toujours
Y_n : ordonnée du point de calcul	m	Toujours
s : tassement du sol (négatif vers le bas)	m	Toujours
r : réaction au nœud	kPa	Toujours

Tableau I.24 : Détail des résultats numériques (tassement et réaction aux nœuds)

- Le deuxième tableau (au milieu) contient la flèche de la plaque et les réactions des appuis surfaciques en fonction de X_e et Y_e (m).
  La première ligne indique les valeurs extrêmes de la flèche de la plaque.

Désignation	Unité	Condition d'affichage
$\mathbf{w_{max}}$: valeur maximum de la flèche (négative vers le bas)	m	Toujours
$\mathbf{w_{min}}$: valeur minimum de la flèche (négative vers le bas)	m	Toujours
$\mathbf{r_{Asmax}}$: valeur maximum de la réaction des appuis surfaciques	kPa	Toujours
$\mathbf{r_{Asmin}}$: valeur minimum de la réaction des appuis surfaciques	kPa	Toujours
$\mathbf{X_e}$: abscisse du point de calcul	m	Toujours
$\mathbf{Y_e}$: ordonnée du point de calcul	m	Toujours
w : flèche de la plaque (négative vers le bas)	m	Toujours
$\mathbf{r_{As}}$: réaction des appuis surfaciques	kPa	Toujours

Tableau I.25 : Détail des résultats numériques (flèche de la plaque)

- Le troisième tableau (à droite) contient les moments fléchissants au droit des points de calcul en fonction de X_m et Y_m (m).
  La première ligne indique les valeurs extrêmes de la flèche de la plaque.

Désignation	Unité	Condition d'affichage
$\mathbf{M_{xmax}}$: moment fléchissant maximal suivant x	kN.m/ml	Toujours
$\mathbf{M_{xmin}}$: moment fléchissant minimal suivant x	kN.m/ml	Toujours
$\mathbf{M_{ymax}}$: moment fléchissant maximal suivant y	kN.m/ml	Toujours
$\mathbf{M_{ymin}}$: moment fléchissant minimal suivant y	kN.m/ml	Toujours
$\mathbf{X_m}$: abscisse du point de calcul	m	Toujours
$\mathbf{Y_m}$: ordonnée du point de calcul	m	Toujours
$\mathbf{M_x}$: moment en x	kN.m/ml	Toujours
$\mathbf{M_y}$: moment en y	kN.m/ml	Toujours
h : épaisseur de la plaque au point de calcul	m	Toujours

Tableau I.26 : Détail des résultats numériques (moment fléchissant)

I.3.11.2.3. Résultats graphiques : coupes graphiques

Les coupes graphiques permettent de présenter des coupes dans la plaque avec affichage de l'une des 6 grandeurs suivantes au choix : flèche de la plaque, tassements du sol (massif multicouche), moments M_x et M_y, réaction du sol, ou réaction des appuis surfaciques.

- Sélectionner dans les listes déroulantes la grandeur à présenter, la direction de la coupe (suivant X ou suivant Y), et sa position. Le tracé de la courbe se met automatiquement à jour. Une dernière liste déroulante permet de sélectionner une 2ème coupe (même grandeur, même direction de coupe, mais position différente), ce qui permet de comparer facilement les coupes obtenues en 2 positions différentes.
- Pour afficher les valeurs maximales et minimales obtenues pour les 6 grandeurs pour l'ensemble du modèle (indépendamment des coupes sélectionnées), cliquer sur le bouton Voir dans le cadre "Valeurs extrêmes globales" (le bouton Masquer permet ensuite de les cacher le cas échéant).

- Pour afficher le détail de chaque point de calcul pour les 2 coupes sélectionnées, cliquer sur le bouton Voir dans le cadre "Détail des coupes" (le bouton Masquer permet ensuite de les cacher le cas échéant).

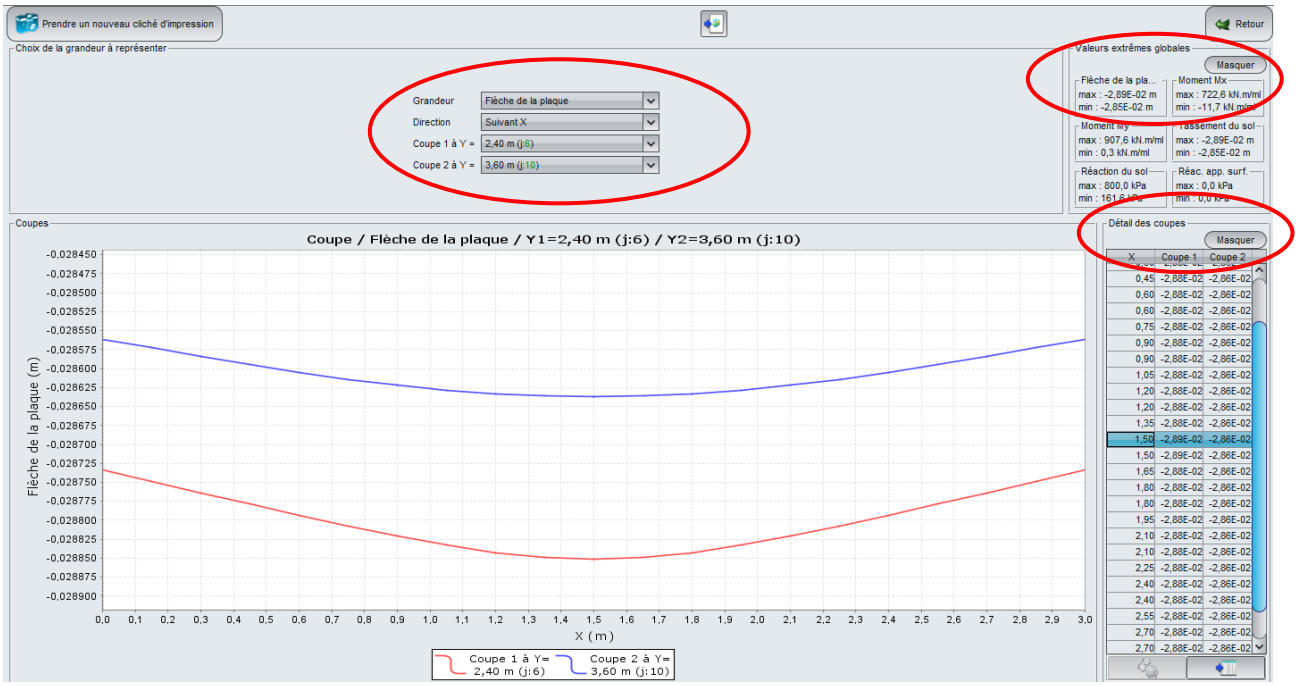


Figure I.59 : Coupe graphique – Projet 3D – Flèche de la plaque – Exemple de coupe suivant x

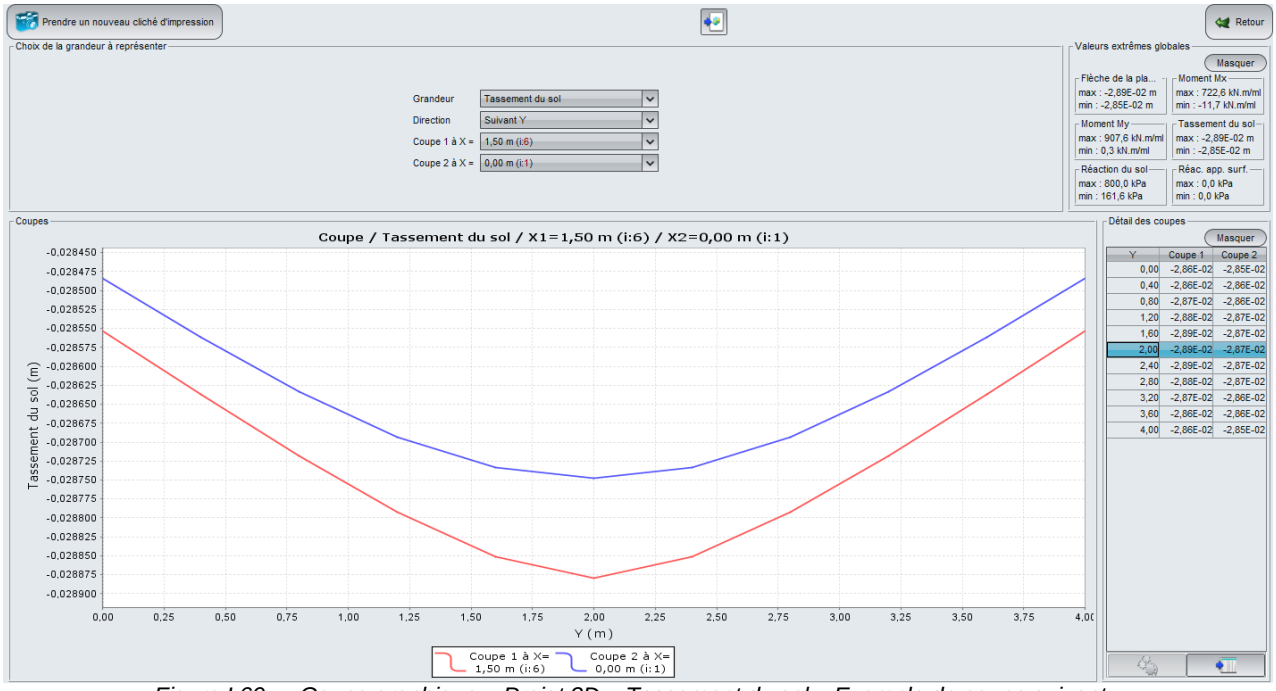


Figure I.60 : Coupe graphique – Projet 3D – Tassement du sol – Exemple de coupe suivant y

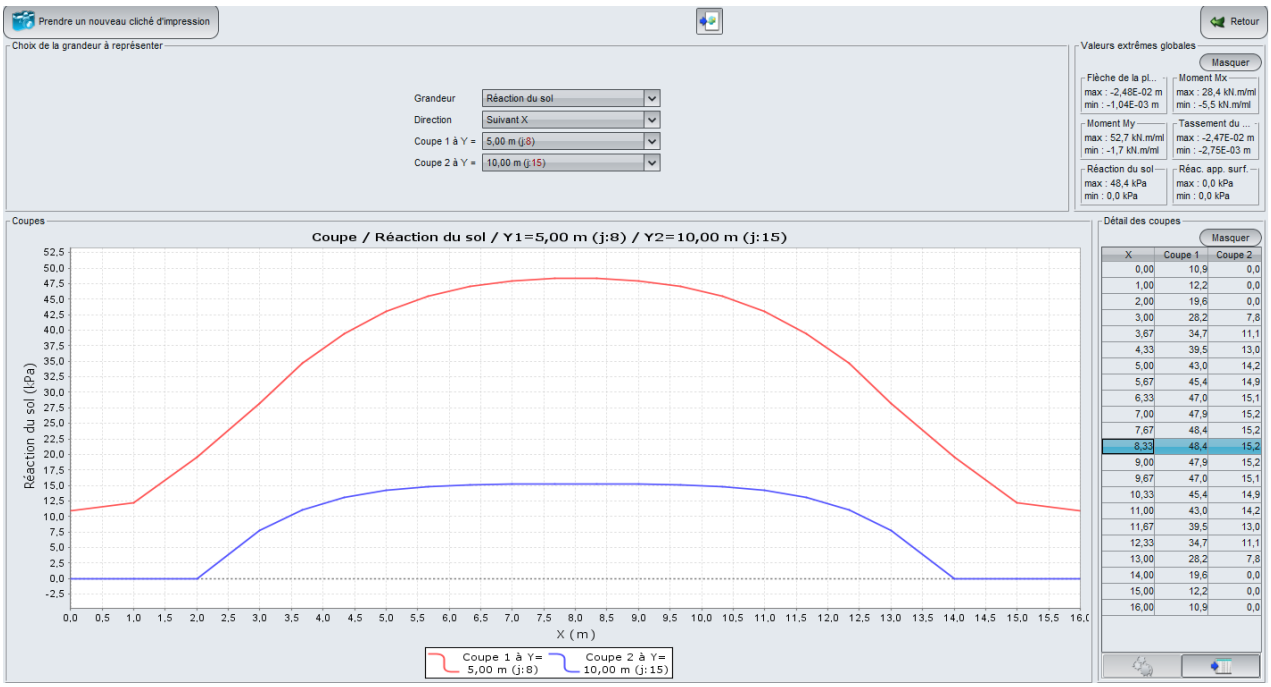


Figure I.61 : Coupe graphique – Projet 3D – Réaction du sol – Exemple de coupe suivant x

I.3.11.2.4. Résultat graphique : nuage de points

Cette option permet d'afficher différents types de résultats sous forme de nuages de points. Les grandeurs disponibles sont les mêmes que pour les coupes : flèche de la plaque, tassements du sol, moments M_x et M_y, réaction du sol, ou réaction des appuis surfaciques.

L'intérêt de cette fenêtre est d'aider l'utilisateur à visualiser la distribution d'une grandeur donnée, ce qui permet notamment de choisir les coupes les plus pertinentes.

La légende (à droite du nuage de points) détaille les différentes plages de valeurs correspondant à chaque couleur.

Cliquer sur le bouton Modifier le dégradé... pour modifier les bornes du dégradé :

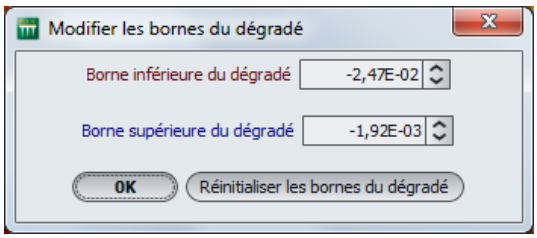


Figure I.62 : Nuage de points : Modifier les bornes du dégradé

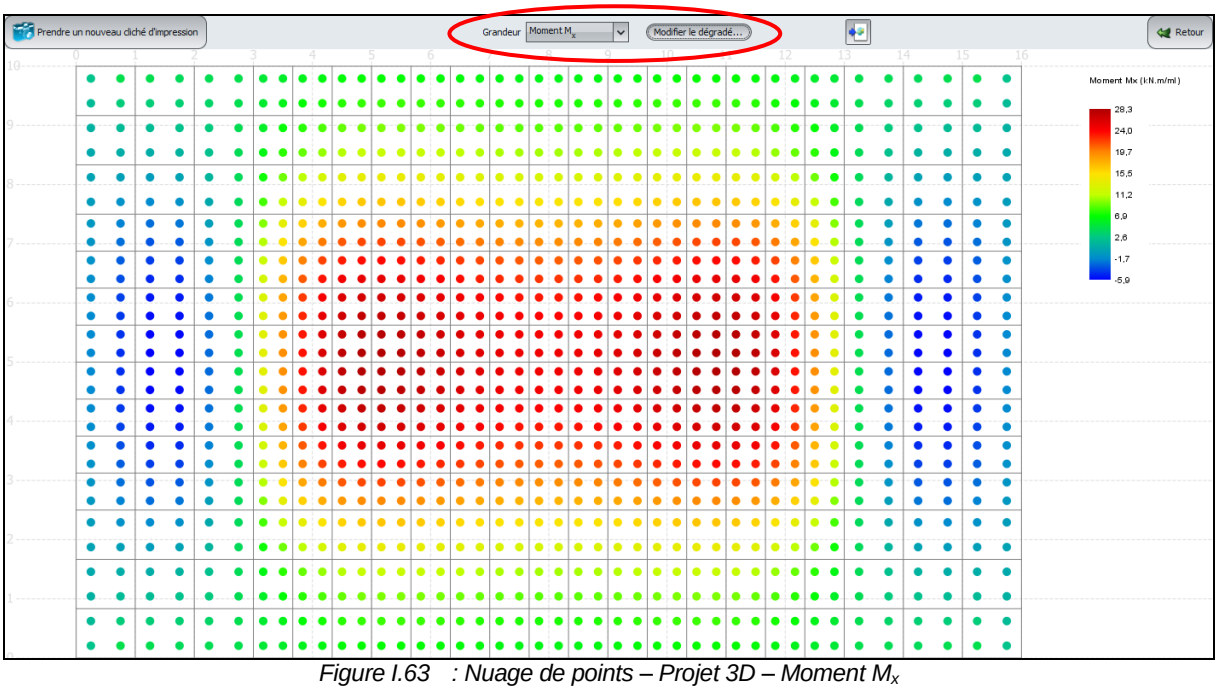


Figure I.63 : Nuage de points – Projet 3D – Moment M_x

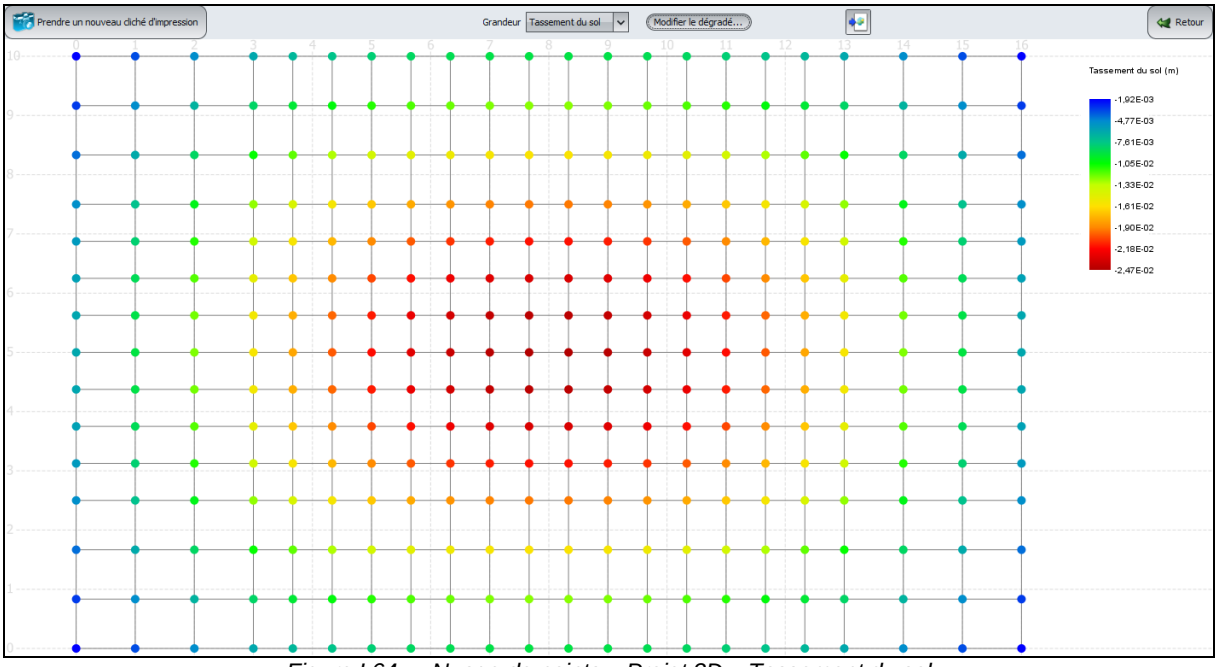


Figure I.64 : Nuage de points – Projet 3D – Tassement du sol

I.3.11.2.5. Résultats graphiques : graphiques 3D

Cette option permet d'afficher différents types de résultats sous forme de surface tridimensionnelle. Les grandeurs disponibles sont les mêmes que pour les coupes et les nuages de points : flèche de la plaque, tassements du sol, moments M_x et M_y, réaction du sol, ou réaction des appuis surfaciques.

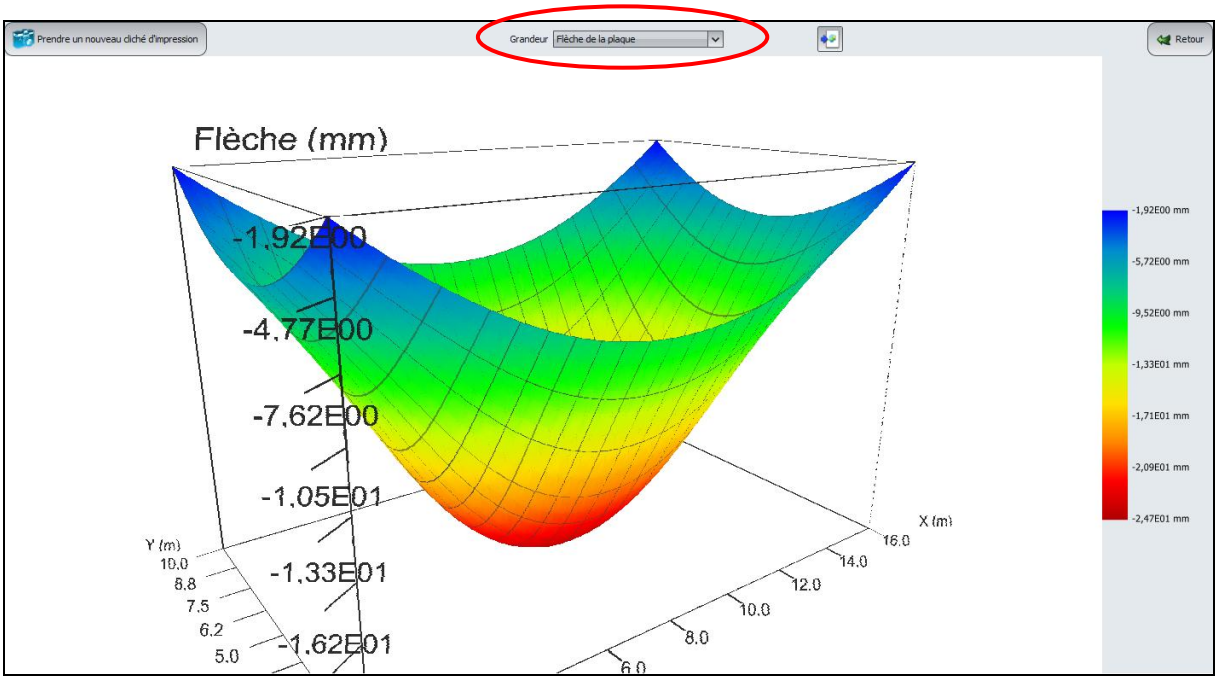


Figure I.65 : Graphique 3D – Flèche de la plaque

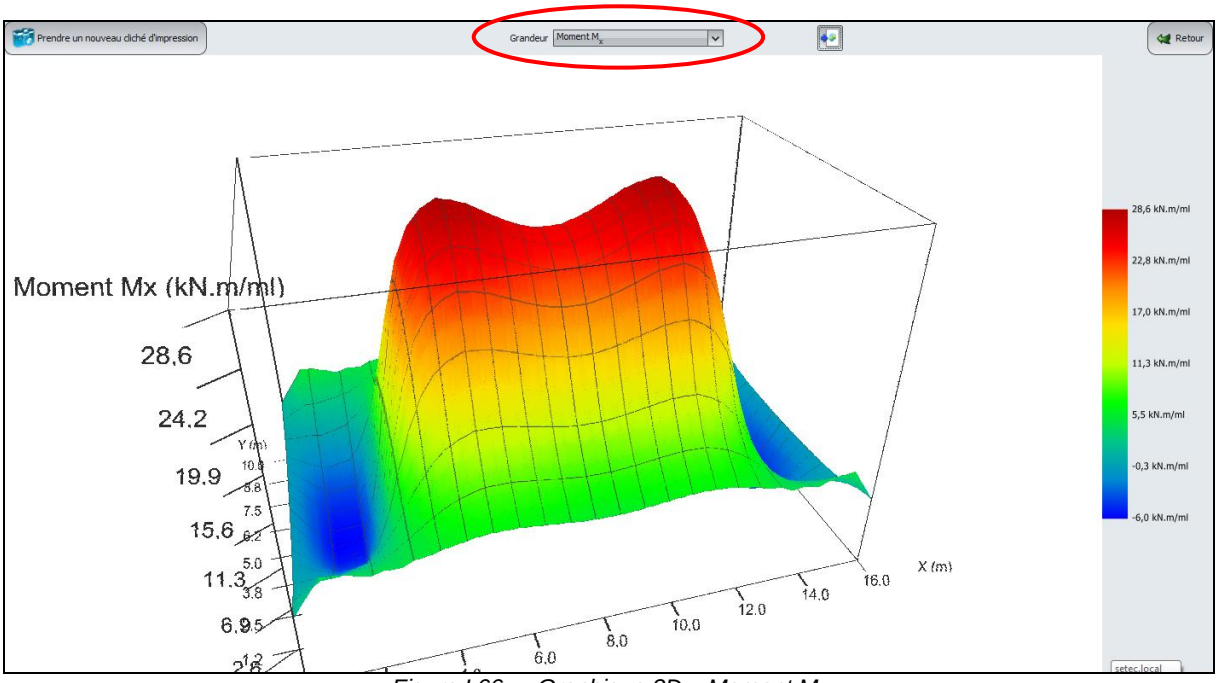


Figure I.66 : Graphique 3D – Moment M_x

I.3.11.2.6. Déshomogénéisation

Cliquer sur le bouton pour lancer l'assistant "Déshomogénéisation".

Dans le cas où l'utilisateur a fait appel dans l'étape de définition des propriétés de la plaque à l'assistant "Section mixte" (cf chapitre I.3.6.3), l'assistant "Déshomogénéisation" permet de retrouver des efforts déshomogénéisés.

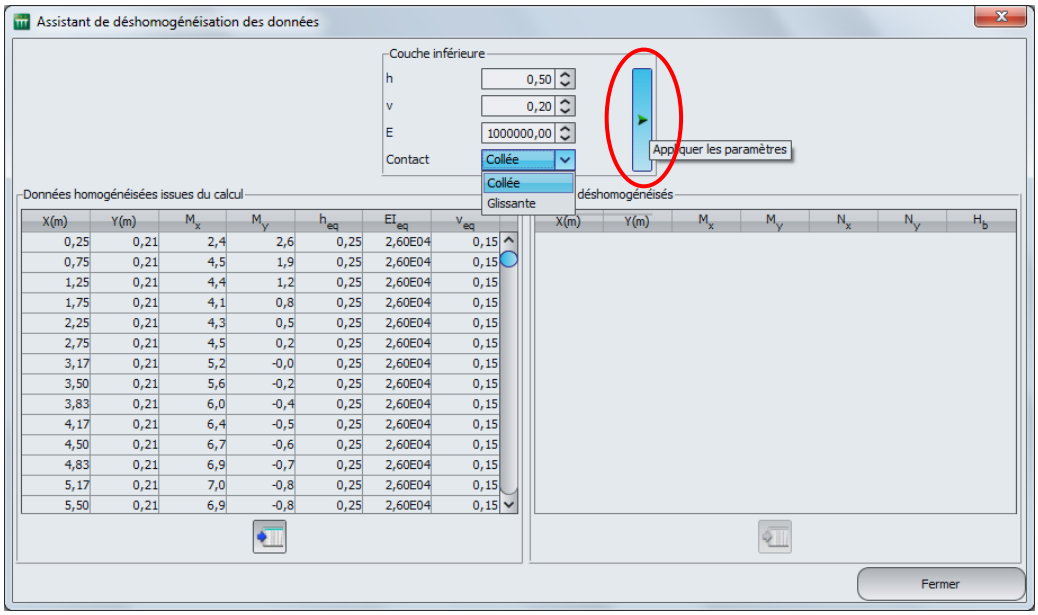


Figure I.67 : Assistant de déshomogénéisation des données

La fenêtre qui s'affiche comporte trois cadres différents :

Cadre "Couche inférieure" :

Les données proposées ici correspondent à celles saisies par l'utilisateur dans l'assistant "Section Mixte". Il est possible de les modifier.

Désignation	**Unité**	**Valeur par défaut**	**Condition d'affichage**	**Valeur obligatoire**	**Contrôles locaux**
h : épaisseur	m	Issues de l'assistant "Section Mixte"	Toujours	Oui	> 0
ν : coefficient de Poisson	-		Toujours	Oui	$0 \leq \nu < 0,5$
E : module d'Young	kPa		Toujours	Oui	> 0
Contact	-		Toujours	Oui	Choix possibles : • Collée • Glissante

Tableau I.27 : Assistant de déshomogénéisation : cadre "Couche inférieure"

Cadre "Données homogénéisées issues du calcul" :

Tasplaq reprend ici les résultats issus du calcul. Ils ne sont pas modifiables :

- **X** : abscisse du point (m) ;
- **Y** : ordonnée du point (m) ;
- **M_x** : moment autour de l'axe -Oy (kN.m/ml) ;
- **M_y** : moment autour de l'axe Ox (kN.m/ml) ;
- **h_{eq}** : hauteur équivalente de la plaque homogénéisée (m) ;

- **EI_{eq}** : produit d'inertie équivalent de la plaque homogénéisée (kN.m²/ml) ;
- **ν_{eq}** : coefficient de Poisson équivalent de la plaque homogénéisée.

Cliquer sur le bouton "Appliquer les paramètres" afin de calculer les "Efforts déshomogénéisés" :

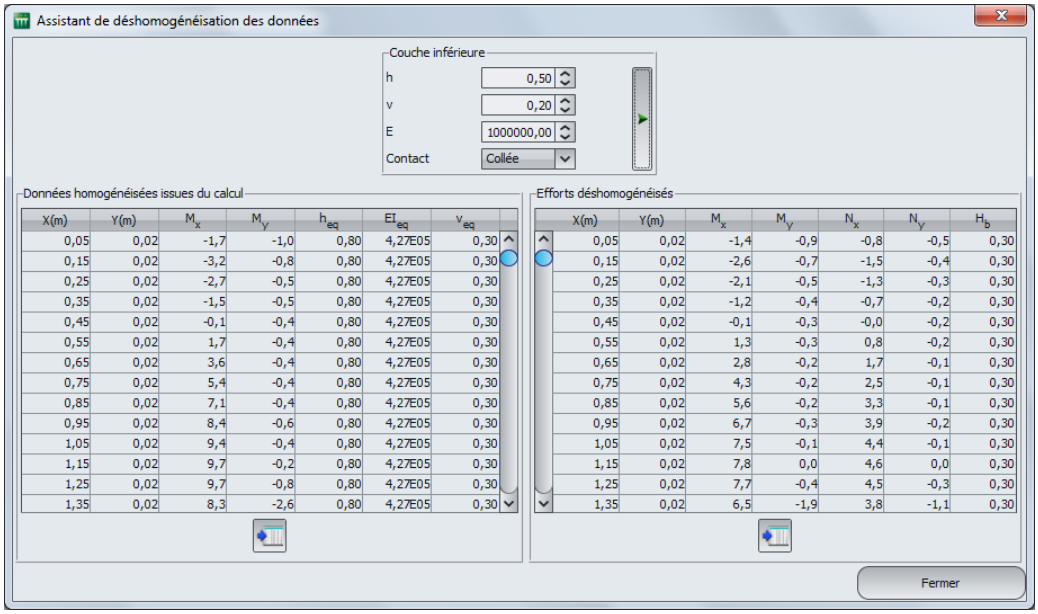


Figure I.68 : Assistant de déshomogénéisation des données : résultats

Cadre "Efforts déshomogénéisés" :

Tasplaq affiche les valeurs déshomogénéisées calculées, non modifiables : moments de flexion et efforts normaux dans la couche supérieure.

- **X** : abscisse du point (m) ;
- **Y** : ordonnée du point (m) ;
- **M_x** : moment autour de l'axe –(Oy) (kN.m/ml) ;
- **M_y** : moment autour de l'axe (Ox) (kN.m/ml) ;
- **N_x** : effort normal suivant x (kN/ml) ;
- **N_y** : effort normal suivant y (kN/ml) ;
- **H_b** : épaisseur de la couche supérieure (m).

Ces données peuvent être exportées vers MS-Excel© pour analyse en cliquant sur le bouton . L'utilisation de cet assistant à l'export est détaillée dans la partie C du manuel.

Cliquer sur le bouton pour fermer la fenêtre.

I.3.11.3. Résultats disponibles pour les projets 2D

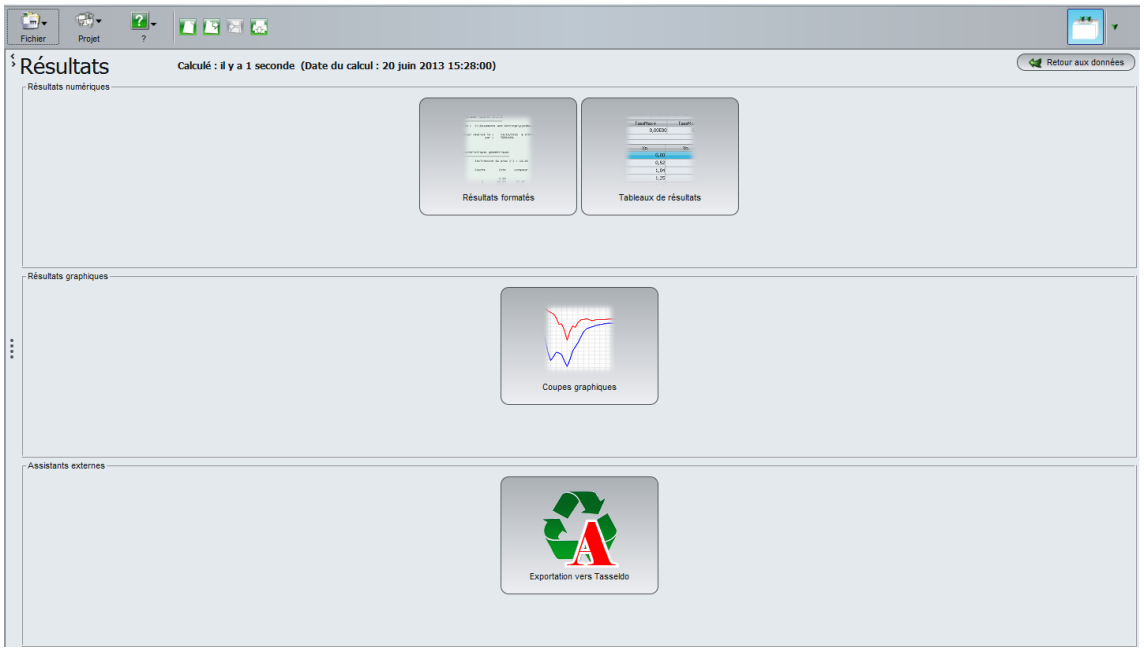


Figure I.69 : Fenêtre des résultats – Projet 2D

I.3.11.3.1. Résultats numériques : résultat formatés

```
PROGRAMME TASPLAQ 2D v2.4.8                          (c) TERRASOL 2011

File :  E:\Users\mto\Documents\Foxtav3\Manuel\Tasplaq\MTO\DÉFORMATIONS PLANES\Déformations planes[TQ].resu

        Déformations planes

Calcul réalisé le :    10/09/2012  à 18h39
             par :    Terrasol

Itération :       11

OPTIONS DU CALCUL
    Chargement des coeff. d'influence :      Non
    Calcul itératif automatique :            Oui
    Sauvegarde des coeff. d'influence :      Non

    Seuil de décollement :          -1.000
    Seuil de compression :        1000.000
    contrainte initiale :            0.000

    Cote de référence :               0.00

CARACTERISTIQUES DES COUCHES

couche      base         module       coef. Poisson

 01        -5.000       0.150E+05          0.330
 02       -15.000       0.800E+05          0.330
 03       -50.000       0.120E+06          0.250

DECOMPOSITION DE LA PLAQUE

   Element                          DLX           EI

     001                          0.200       0.427E+06
     002                          0.200       0.427E+06
     003                          0.200       0.427E+06
     004                          0.200       0.427E+06
     005                          0.200       0.427E+06
     006                          0.200       0.427E+06
     007                          0.200       0.427E+06
```

```
                    ***SOLUTION***
                    **************

DEPLACEMENT ET ROTATION AUX NOEUDS ACTIVÉS

   Noeud              W              ThetaX

     001          0.536944E-01      -0.797461E-02
     002          0.521003E-01      -0.796300E-02
     003          0.505104E-01      -0.793379E-02
     004          0.489277E-01      -0.789147E-02
     005          0.473545E-01      -0.783858E-02
     006          0.457928E-01      -0.777696E-02
     007          0.442442E-01      -0.770805E-02
     008          0.427100E-01      -0.763304E-02
     009          0.411913E-01      -0.755298E-02
     010          0.396891E-01      -0.746880E-02
     011          0.382040E-01      -0.738138E-02
     012          0.367367E-01      -0.729155E-02
     013          0.352875E-01      -0.720009E-02
     014          0.338567E-01      -0.710779E-02
     015          0.324444E-01      -0.701544E-02
     016          0.310505E-01      -0.692382E-02
     017          0.296748E-01      -0.683372E-02
     018          0.283169E-01      -0.674595E-02
     019          0.269762E-01      -0.666135E-02
     020          0.256521E-01      -0.658077E-02
     021          0.243436E-01      -0.650509E-02
     022          0.230496E-01      -0.643522E-02
     023          0.217690E-01      -0.637203E-02
     024          0.205003E-01      -0.631631E-02
     025          0.192419E-01      -0.626877E-02
     026          0.179922E-01      -0.623002E-02
     027          0.167496E-01      -0.619708E-02
     028          0.155132E-01      -0.616686E-02
     029          0.142826E-01      -0.613972E-02
     030          0.130571E-01      -0.611590E-02
     031          0.118360E-01      -0.609553E-02
     032          0.106187E-01      -0.607865E-02
     033          0.940433E-02      -0.606509E-02
     034          0.819242E-02      -0.605453E-02
     035          0.698235E-02      -0.604659E-02
     036          0.577363E-02      -0.604090E-02
     037          0.456586E-02      -0.603709E-02
     038          0.335870E-02      -0.603478E-02
     039          0.215187E-02      -0.603359E-02
     040          0.945210E-03      -0.603315E-02
     041         -0.261411E-03      -0.603309E-02

          Wmax=  0.536944E-01   en x=       0.000
          Wmin= -0.261411E-03   en x=       8.000

REACTION DU SOL ET TASSEMENT SOUS LES NOEUDS

   Noeud          statut        Pression        Tassement          Flèche

     001         Plastifié      1000.000        0.536944E-01       0.536944E-01
     002           ***            445.258       0.521003E-01       0.521003E-01
     003           ***            292.926       0.505104E-01       0.505104E-01
     004           ***            240.404       0.489277E-01       0.489277E-01
     005           ***            208.241       0.473545E-01       0.473545E-01
```

Figure I.70 : Résultats numériques formatés – Exemple pour un projet 2D en déformations planes

De manière analogue au cas de projets 3D, les résultats numériques formatés contiennent :

- Un rappel des données : paramètres généraux, données de sol, géométrie et décomposition de la plaque, caractéristiques de la plaque, points de calcul, charges appliquées (et leur décomposition).
- Les résultats :
  - Les déplacements et rotations aux nœuds activés : pour chaque nœud (défini par son numéro), Tasplaq indique le déplacement :
    - le déplacement w (m), positif vers le bas ;
    - la rotation θ_x (2D déformations planes) ou θ_R (2D axisymétrique) (en radians).

    Sous ce tableau, il est précisé les valeurs maximales et minimales w_{max} et le w_{min} (m), et l'abscisse (2D déformations planes) ou la distance à l'axe (2D axisymétrique) pour lesquelles elles sont obtenues.
  - La réaction du sol et le tassement sous les nœuds : pour chaque nœud (défini par son numéro), Tasplaq indique :
    - son statut (plastifié ou décollé) ;
    - la pression (kPa) : réaction du sol sous la plaque ;
    - le tassement (m), positif vers le bas ;
    - la flèche (m), positive vers le bas.

    Sous ce tableau, il est précisé les valeurs maximales et minimales du tassement (m), et l'abscisse (2D déformations planes) ou la distance à l'axe (2D axisymétrique) pour lesquelles elles sont obtenues..
  - Pour les modèles 2D en déformations planes :

    Pour chaque point de calcul (3 points par élément), Tasplaq indique :
    - le numéro de l'élément et son abscisse X_m (m) ;
    - le moment fléchissant M_x (kN.m/ml) ;
    - l'effort tranchant T_x (kN/ml).
  - Pour les modèles 2D axisymétriques :
    - ✓ Les moments fléchissants : pour chaque point de calcul (2 points par élément), Tasplaq indique :
      - le numéro de l'élément et la distance X_m du point à l'axe (m) ;
      - le moment fléchissant radial M_r (kN.m/ml) ;
      - le moment fléchissant tangentiel M_t (kN.m/ml) ;
    - ✓ Les efforts tranchants : pour chaque point de calcul (3 points par élément), Tasplaq indique :
      - le numéro de l'élément et la distance X_t du point à l'axe (m) ;
      - l'effort tranchant T_r (kN/ml).

I.3.11.3.2. Résultats numériques : tableau des résultats

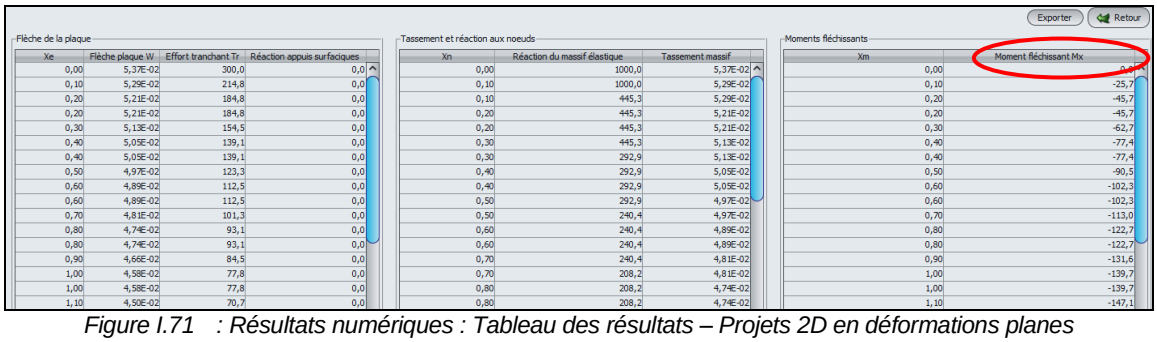


Figure I.71 : Résultats numériques : Tableau des résultats – Projets 2D en déformations planes

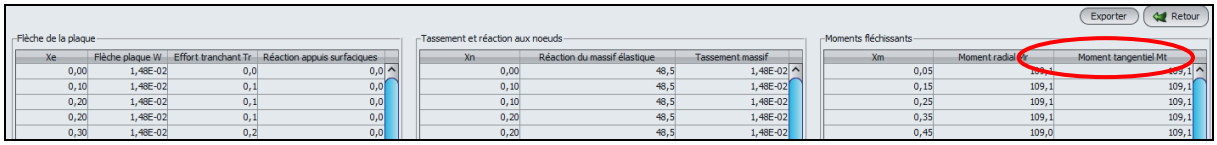


Figure I.72 : Résultats numériques : Tableau des résultats – Projets 2D axisymétriques

Comme en 3D, il s'agit globalement des mêmes résultats que ceux détaillés pour les résultats formatés, mais présentés cette fois sous la forme de tableaux, et sans la partie de rappel des données. Certains résultats ne sont toutefois pas affichés dans ces tableaux (comme les rotations par exemple).

- Le premier tableau (à gauche) contient la flèche de la plaque, l'effort tranchant, et la réaction des appuis surfaciques au droit des points de calcul en fonction de X_e (m).
  La première ligne indique les valeurs extrêmes des tassements et de la réaction aux nœuds.

Désignation	**Unité**	**Condition d'affichage**
X_e : abscisse du point de calcul	m	Toujours
w : flèche de la plaque (positive vers le bas)	m	Toujours
Effort tranchant	kN/ml	Toujours
Réact app surf : réaction des appuis surfaciques	kPa	Toujours

Tableau I.28 : Détail des résultats numériques relatifs à la plaque (projets 2D)

- Le deuxième tableau (au milieu) contient le tassement et la réaction du sol au droit des points de calcul en fonction de X_n (m).
  La première ligne indique les valeurs extrêmes de la flèche de la plaque.

Désignation	**Unité**	**Condition d'affichage**
X_n : abscisse du point de calcul	m	Toujours
Réaction du massif élastique	kPa	Toujours
Tassement massif	m	Toujours

Tableau I.29 : Détail des résultats numériques - Tassement et réaction du sol (projets 2D)

- Le troisième tableau (à droite) contient les moments fléchissants au droit des points de calcul en fonction de X_m (m).
  La première ligne indique les valeurs extrêmes de la flèche de la plaque.

Désignation	**Unité**	**Condition d'affichage**
X_m : abscisse du point de calcul	m	Toujours
M_x : moment fléchissant	kN.m/ml	Toujours

Tableau I.30 : Détail des résultats numériques - Moments fléchissants (projets 2D en déformations planes)

Désignation	**Unité**	**Condition d'affichage**
X_m : abscisse du point de calcul	m	Toujours
M_r : moment radial	kN.m/ml	Toujours
M_t : moment tangentiel	kN.m/ml	Toujours

Tableau I.31 : Détail des résultats numériques - Moments fléchissants (projets 2D axisymétriques)

I.3.11.3.3. Résultats graphiques : coupes graphiques

Comme en 3D, les coupes graphiques permettent de présenter des coupes dans la plaque avec affichage de l'une des grandeurs suivantes au choix :

- flèche de la plaque et tassements du sol (représentés sur le même graphique) ;
- moments radial et tangentiel (représentés sur le même graphique) dans le cas des projets 2D axisymétriques, et moment fléchissant M_x dans le cas des projets 2D en déformations planes ;
- réaction du sol et réaction des appuis surfaciques (représentés sur le même graphique) ;
- effort tranchant.

Le fonctionnement de cet écran est analogue à celui décrit en 3D (cf chapitre I.3.11.2.3).

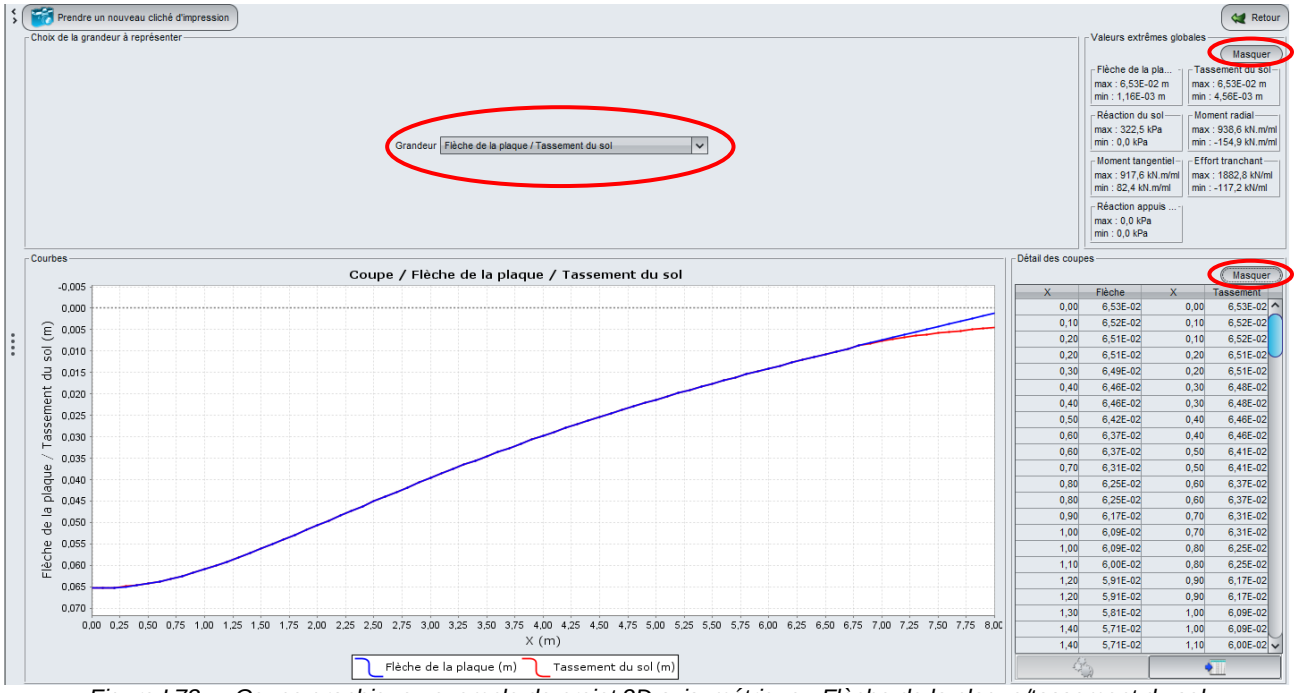


Figure I.73 : Coupe graphique : exemple de projet 2D axisymétrique - Flèche de la plaque/tassement du sol

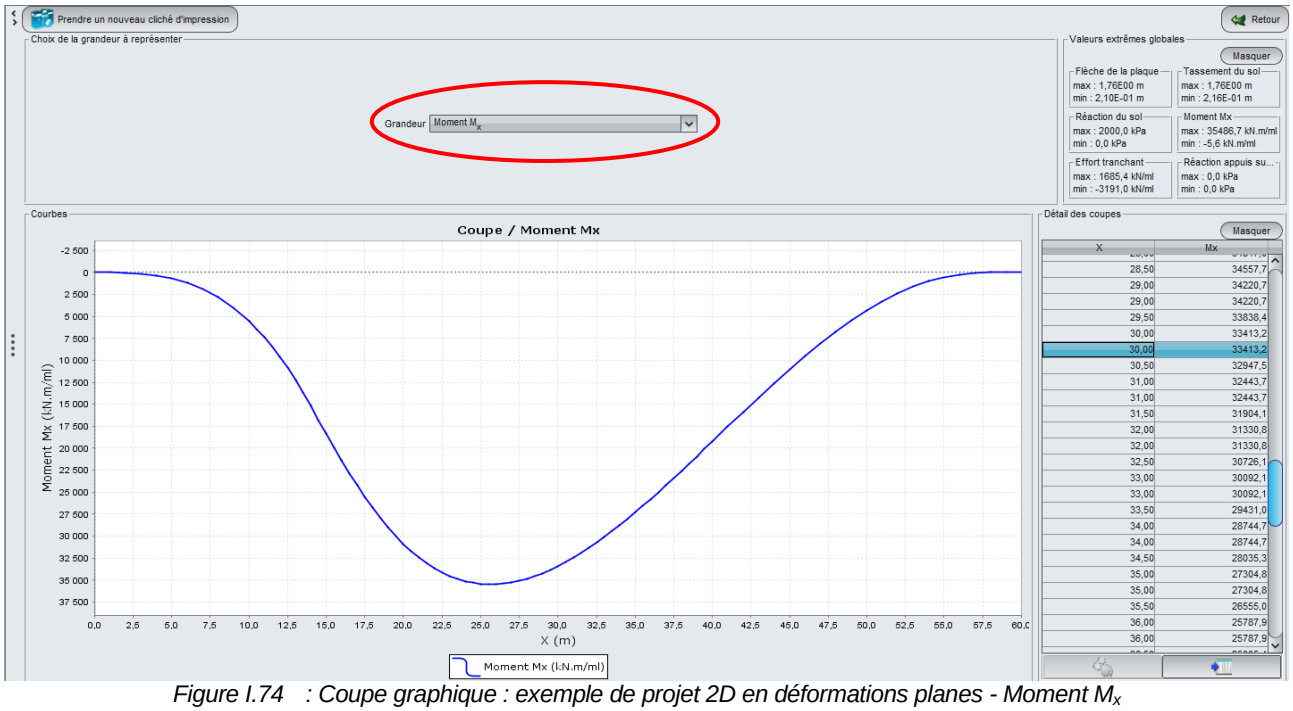


Figure I.74 : Coupe graphique : exemple de projet 2D en déformations planes - Moment M_x

I.3.11.4. Assistant externe d'exportation vers Tasseldo

L'assistant "Exportation vers Tasseldo", accessible par le bouton , permet d'exporter l'ensemble des réactions calculées sous la plaque pour pouvoir effectuer un calcul sous Tasseldo. Cet assistant est disponible pour les projets 2D et 3D.

Le passage par Tasseldo permet de compléter les enseignements pouvant être tirés d'un modèle Tasplaq :

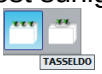
- Tassements en profondeur et en tout point de la surface (en particulier, en dehors du modèle Tasplaq) ;
- Distribution des contraintes en profondeur.

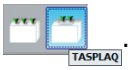
Le fichier Tasseldo généré comporte les éléments suivants :

- la définition des couches de sol (propriétés élastiques) ;
- charges exercées sur le sol :
  - charges extérieures sur le sol ;
  - pression nette exercée par la plaque de chaque nœud (réaction du sol);
- les points de calcul (nœuds).

L'assistant génère ce fichier de données, et ouvre aussitôt le module Tasseldo.

Les modules Tasplaq et Tasseldo sont alors tous deux activés dans le projet (les boutons des deux modules s'affichent) et le module actif est surligné en bleu :

- soit en haut à droite de la fenêtre : 

ou 

. En passant la souris sur l'un ou l'autre bouton, le nom du module s'affiche dans une info-bulle ;
- soit dans le bandeau à droite de la fenêtre :

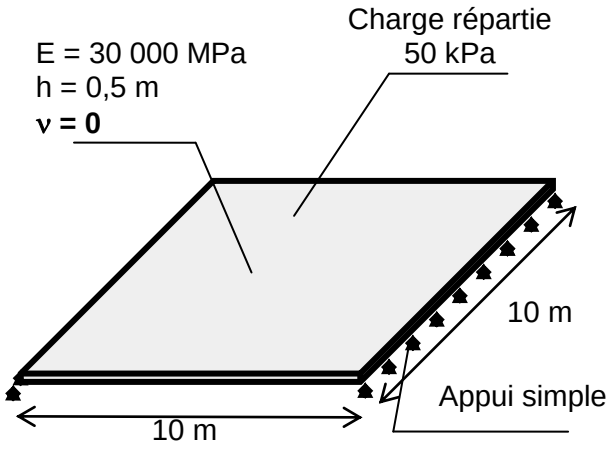
I.4. Exemples de calcul Tasplaq

I.4.1. Exemple 1 : Dalle sur appuis rigides

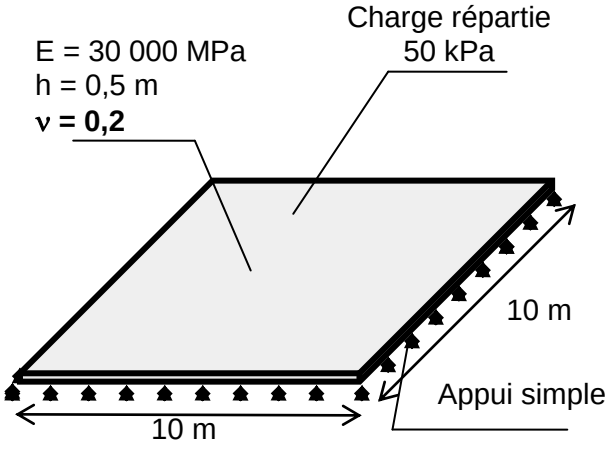
L'exemple concerne l'étude d'une dalle carrée homogène de 10 m de côté sous une charge répartie de 50 kPa. Pour les conditions aux limites, nous allons étudier deux cas :

- Cas d'une plaque appuyée sur 2 côtés opposés (schéma a ci-dessous) ;
- Cas d'une plaque appuyée sur ses 4 côtés (schéma b ci-dessous).

Les données du problème sont détaillées sur le schéma ci-dessous :



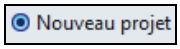
cas (a) – appui simple sur 2 côtés opposés

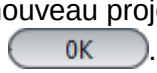


cas (b) – appui simple sur les 4 côtés

I.4.1.1. Etape 1 : Dalle appuyée sur deux côtés opposés

I.4.1.1.1. Saisie des données

- Choisir de créer un nouveau projet en sélectionnant le radio-bouton 

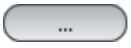
;
- Cliquer sur le bouton 

.

Si Foxta est déjà ouvert, cliquer sur le menu "Fichier", "Nouveau projet".

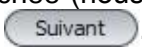
I.4.1.1.2. Assistant Nouveau projet

Cadre "Fichier" :

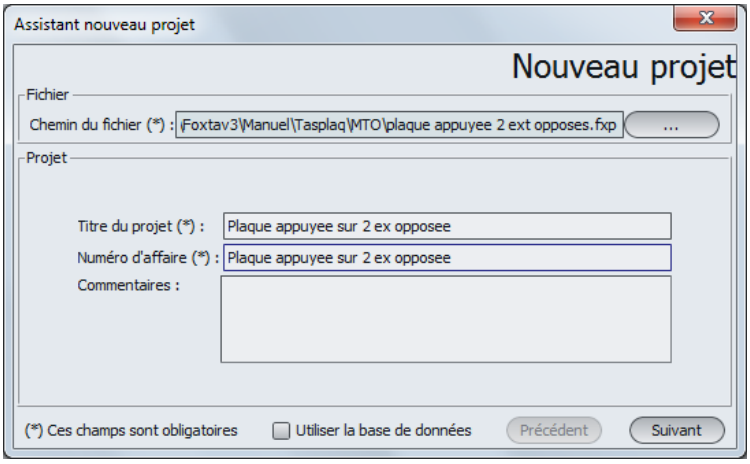
- Renseigner le chemin du fichier en cliquant sur le bouton 

;
- Donner un nom au fichier et l'enregistrer.

Cadre "Projet" :

- Donner un titre au projet ;
- Saisir un numéro d'affaire ;
- Compléter avec un commentaire si besoin ;
- Laisser la case "Utiliser la base de données" décochée (nous n'utiliserons pas la base de données pour cet exemple), et cliquer sur le bouton 

.



I.4.1.1.3. Assistant Nouveau projet : Choix du module

- Dans la fenêtre "Choix des modules", sélectionner le module TASPLAQ puis cliquer sur le bouton Créer.

La fenêtre de saisie des données TASPLAQ apparaît.
Il convient à présent de compléter les différents onglets de données, dans la zone droite de l'écran.

I.4.1.1.4. Onglet "Paramètres"

Cadre "Mode général" :

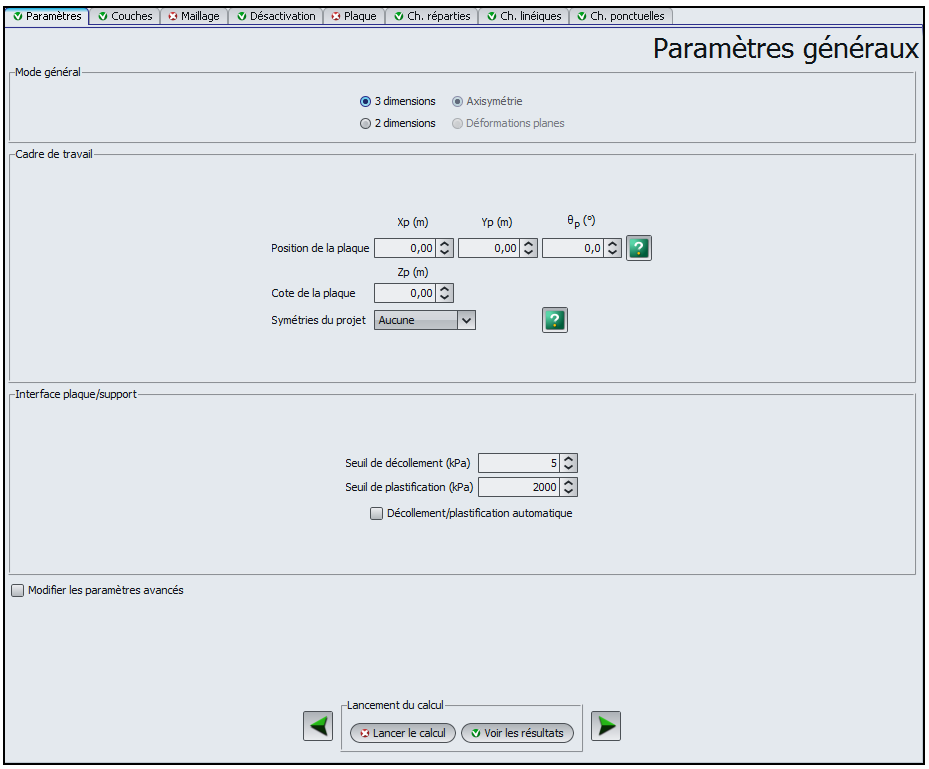
Le modèle étudié est tridimensionnel (plaque carrée), et on sélectionne donc ici "3 dimensions".

Cadre "Cadre de travail" :

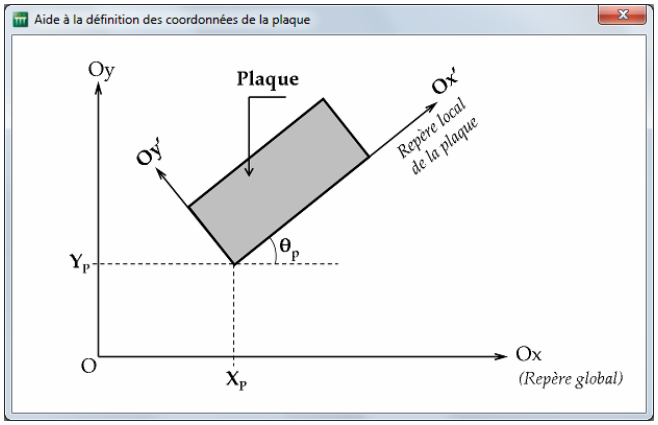
Dans cet exemple, le repère local de la plaque représentative de la dalle est pris identique au repère global du modèle. Le point (0,0) représente le coin "bas – gauche" de la plaque en vue de dessus.

- Position de la plaque :

X_p (m)	Y_p (m)	θ_p (°)
0,0	0,0	0



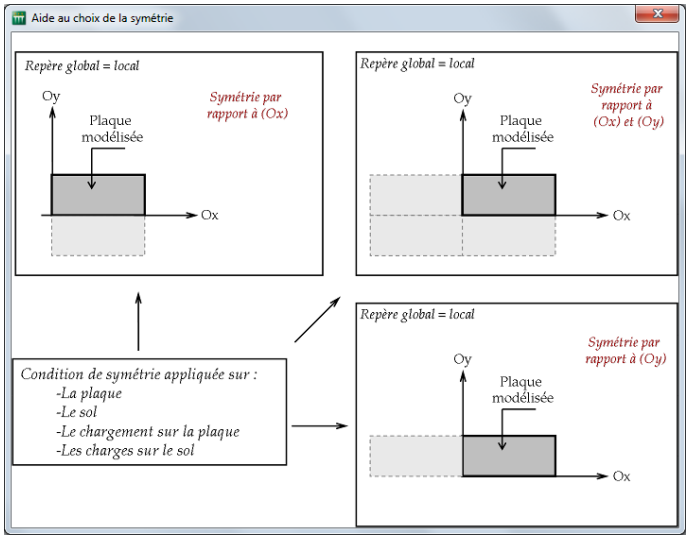
La figure d'aide suivante est disponible pour la définition des coordonnées de la plaque :



- Cote de la plaque : Z_p = 0,0 m (cote de référence = cote de la sous-face de la dalle).
- Symétrie de projet : Aucune (on choisit ici de traiter le modèle entier)

  Nota : il est possible dans Tasplaq de définir des axes de symétrie afin de simplifier certaines modélisations. La figure d'aide suivante illustre les différents cas possibles.

*Edition juillet 2013 - **Copyright © Foxta v3 - 2011***



Cadre "Interface plaque/support" :

Ce cadre permet d'activer la gestion automatique des critères de décollement et de plastification à l'aide de critères définis par l'utilisateur.

- Les valeurs par défaut sont conservées dans cet exemple.

Seuil de décollement	5 kPa
Seuil de plastification	2000 kPa

- Décollement/plastification automatique : Décochée
- Modifier les paramètres avancés : Décochée

Pour passer à l'onglet suivant, cliquer soit sur le nom de l'onglet "Couches", soit sur le bouton .

I.4.1.1.5. Onglet "Couches"

Cet onglet contient deux cadres différents :

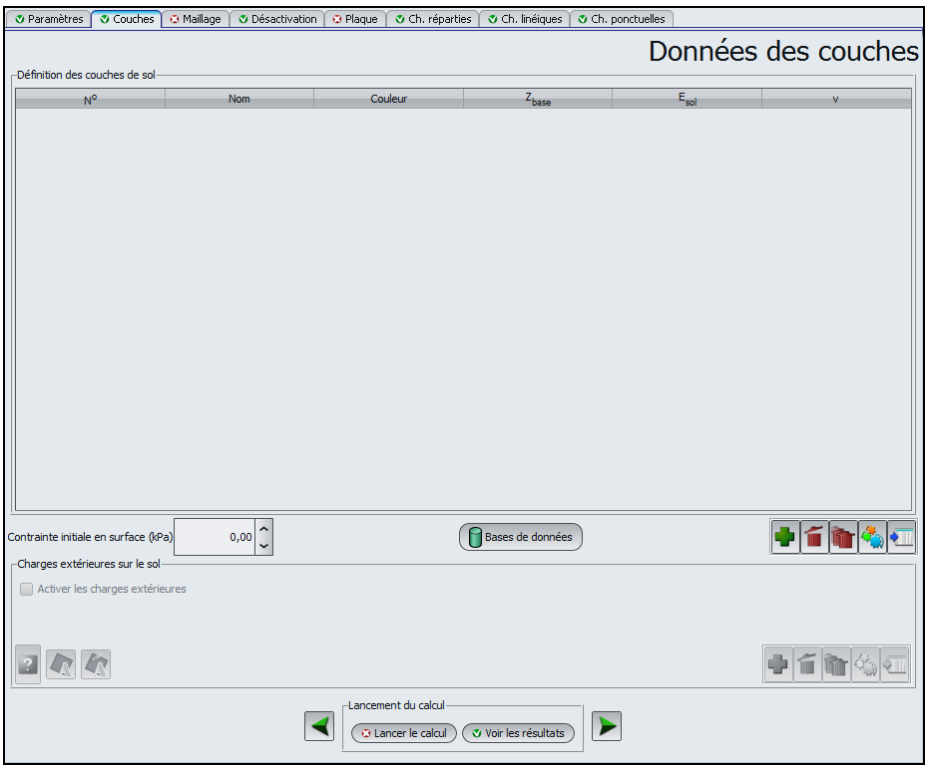
Cadre "Définition des couches de sol" :

- Aucune couche de sol n'est à définir, il s'agit d'un calcul pur RDM, de type plaque sur appuis.
- Contrainte initiale en surface : 0 kPa.

Cadre "Charge extérieure sur le sol" :

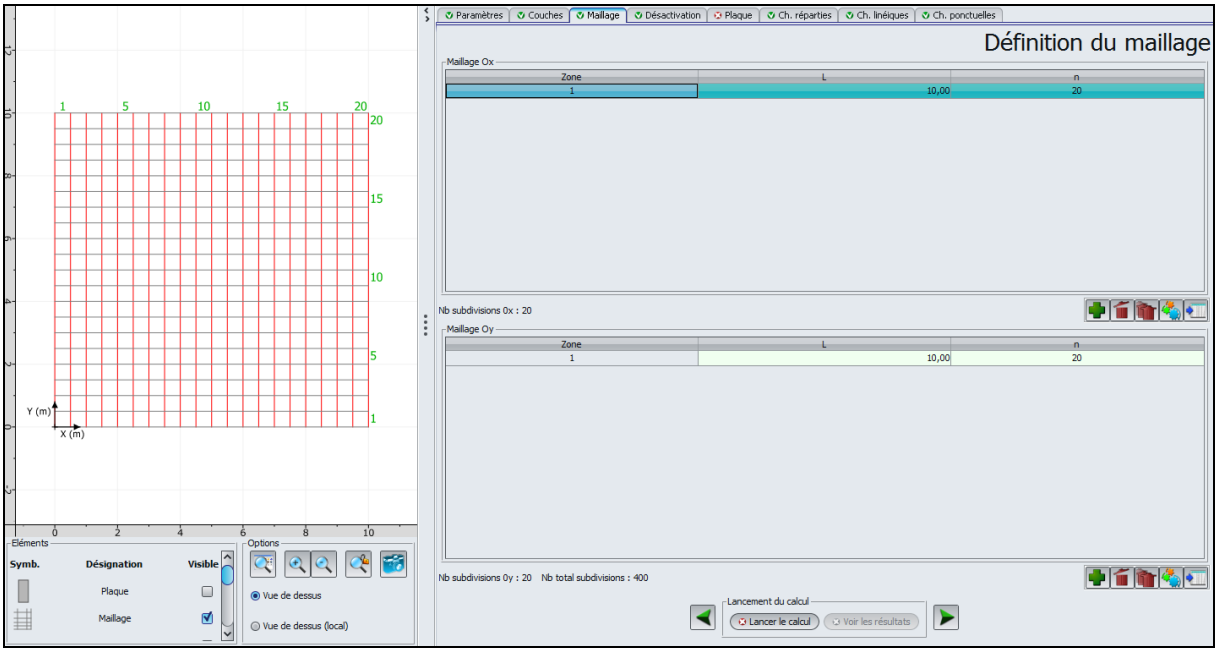
Nous n'avons pas dans cet exemple de charges appliquées sur le sol à l'extérieur de la plaque.

- Activer les charges extérieures : décochée (cette option n'est d'ailleurs pas disponible dans le cas de cet exemple, car aucune couche de sol n'a été définie).



I.4.1.1.6. Onglet "Maillage"

On opte pour un maillage régulier avec un pas de 0,5 m, ce qui revient à considérer une zone unique de 10 m de côté discrétisée en 20 subdivisions selon chaque axe.



Cadre "Maillage Ox" :

- Une seule zone à définir selon Ox pour cet exemple.

Zone	L (m)	n
1	10	20

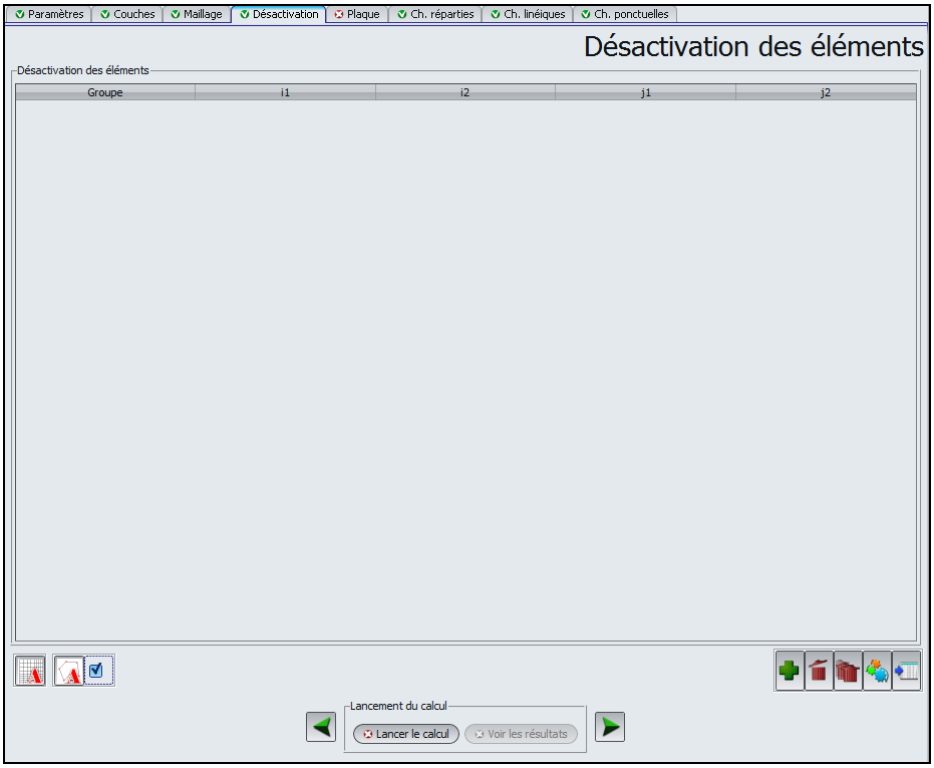
Cadre Maillage Oy :

- De même, une seule zone à définir selon Ox pour cet exemple.

Zone	L (m)	n
1	10	20

I.4.1.1.7. Onglet "Désactivation"

Dans cet exemple, il n'y a pas d'élément à désactiver, la plaque est pleine et rectangulaire. Le cadre "Désactivation des éléments" est laissé vide.

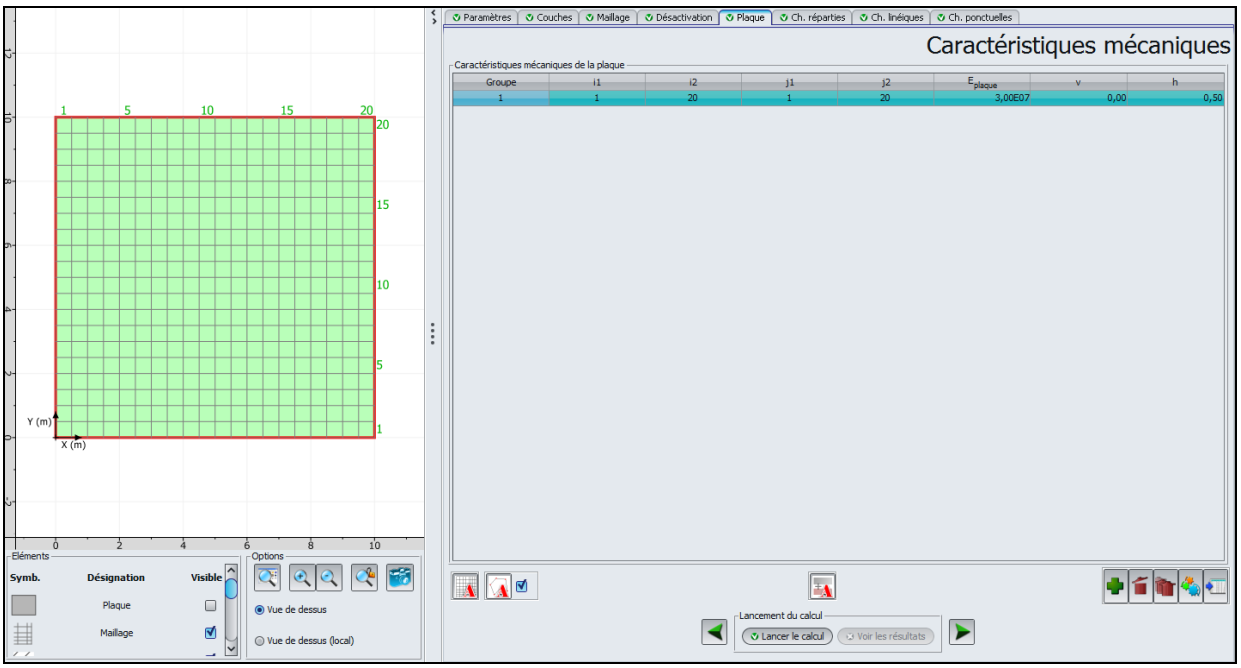


I.4.1.1.8. Onglet "Plaque"

Les caractéristiques mécaniques de la plaque sont définies par zones rectangulaires. Chaque zone rectangulaire est définie à l'aide des numéros (i1/i2 selon Ox, et j1/j2 selon Oy) des éléments qui la délimitent.

Dans cet exemple, la plaque est homogène et continue. Pour définir ses caractéristiques, il suffit donc de définir une seule zone couvrant tout le modèle : soit de i1 = 1 à i2 = 20 selon Ox et de j1 = 1 à j2 = 20 selon Oy, conformément au découpage effectué précédemment.

Cliquer sur le bouton sous le tableau pour créer une ligne dans le tableau : par défaut, Tasplaq propose justement les valeurs de i1, i2, j1 et j2 correspondant à l'ensemble de la plaque. Il reste à compléter la ligne par les caractéristiques de la plaque.



Les données à saisir sont les suivantes :

Groupe	i1	i2	j1	j2	E_{plaque} (kPa)	ν	h (m)
1	1	20	1	20	3,00E+07	0,00	0,50

Le choix d'un coefficient de Poisson nul s'explique par l'hypothèse d'une plaque constituée en béton armé (une valeur de 0,2 est à considérer pour le cas d'un béton non armé ou fibré : ce sera le cas dans la 2ème étape de cet exemple).

I.4.1.1.9. Onglet "Charges Réparties"

La plaque est soumise à une charge uniforme répartie de 50 kPa. Il convient donc de définir un chargement réparti sur une zone couvrant toute la plaque (de i1 = 1 à i2 = 20 selon Ox et de j1 = 1 à j2 = 20 selon Oy).

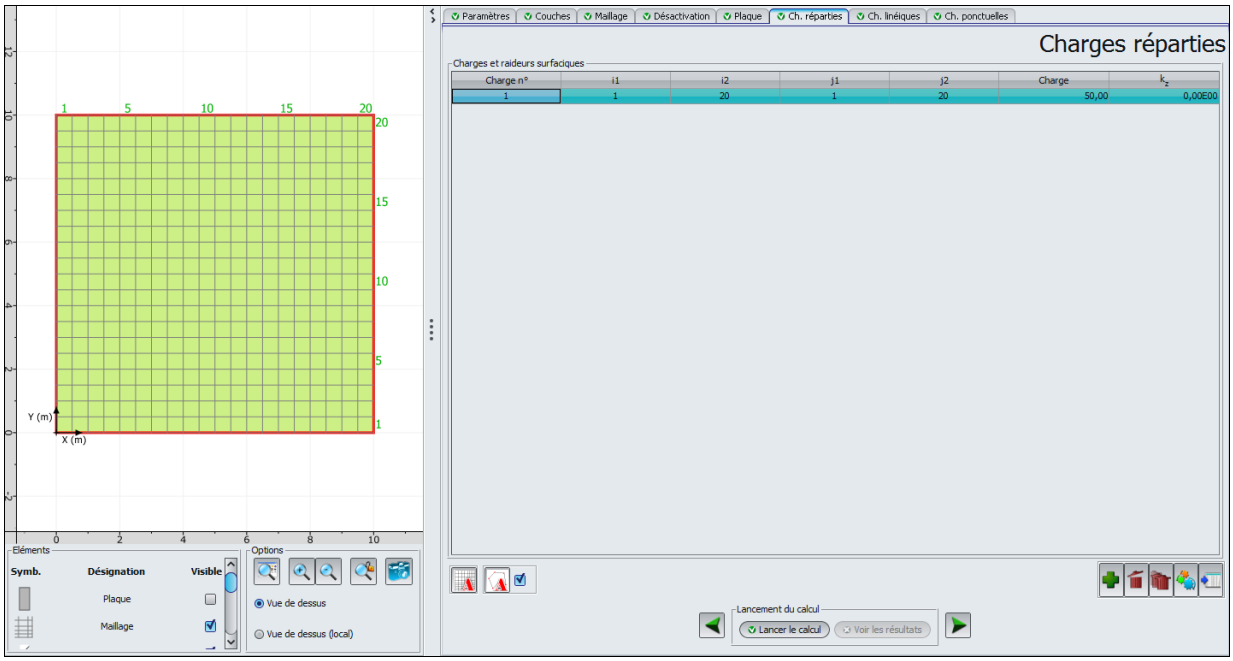
Cliquer sur le bouton sous le tableau pour créer une ligne dans le tableau : comme précédemment pour la plaque, Tasplaq propose par défaut les valeurs de i1, i2, j1 et j2 correspondant à l'ensemble de la plaque. Il reste à compléter la ligne par les caractéristiques du chargement réparti.

La colonne "kz" (raideur surfacique) correspond au cas où une raideur continue élastique existe sous la plaque (ressorts surfaciques), ce qui permet donc de définir un appui continu élastique de raideur variable par zone. Dans le présent exemple, aucune raideur surfacique n'est à définir.

Saisir les caractéristiques du chargement :

Charge n°	i1	i2	j1	j2	Charge (kPa)	k_z (kPa/m)
1	1	20	1	20	50	0

*Edition juillet 2013 - **Copyright © Foxta v3 - 2011***



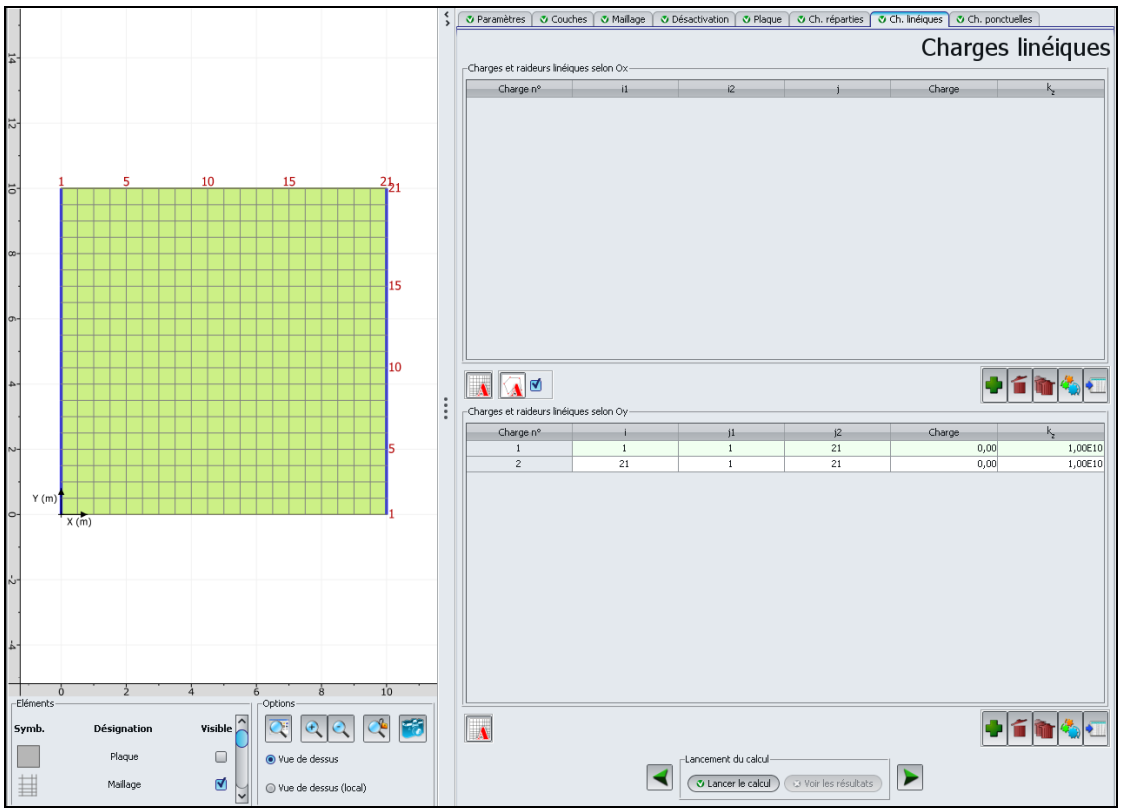
I.4.1.1.10. Onglet "Charges linéiques"

L'option « charge linéique » permet d'une part de définir des charges linéiques s'exerçant sur la plaque, mais également des raideurs linéiques qui permettent de simuler certains cas particuliers.

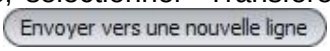
C'est cette dernière fonctionnalité que nous allons utiliser ici : en effet, le cas d'un appui simple sur certains côtés de la plaque (le cas de notre exemple) peut être simulé en considérant un appui linéique de raideur en translation suffisamment élevée (10^{10} kN/m/ml par exemple).

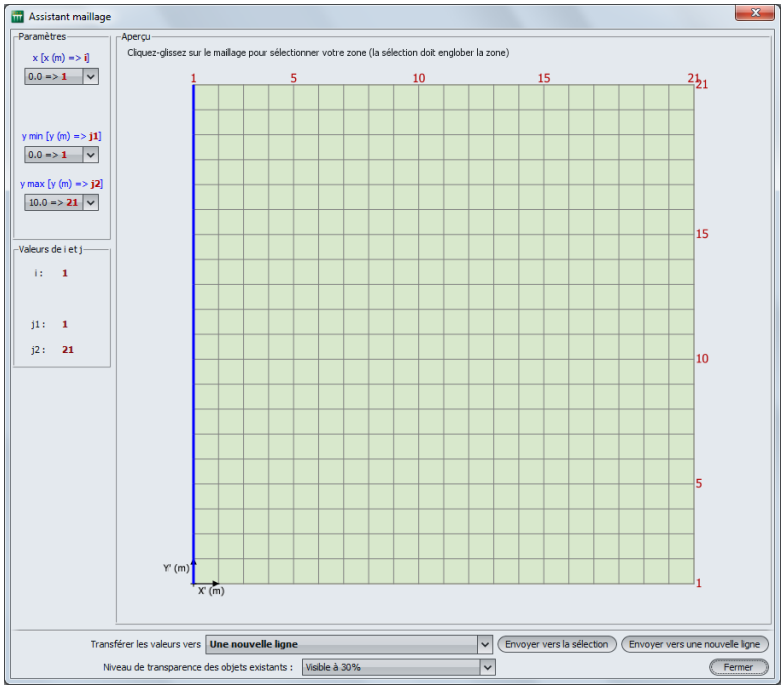
Les raideurs ponctuelles sont affectées par groupes de nœuds. On définit, pour chaque appui, le groupe de nœuds correspondant auquel on affecte une raideur en translation de 10^{10} kN/m/ml.

Dans notre cas, 2 appuis sont à définir sous 2 côtés opposés de la plaque, soit 2 groupes de nœuds à sélectionner. En l'occurrence, on choisit les 2 côtés opposés X = 0 m et X = 10 m (il s'agit donc de raideurs linéiques selon Oy).



Nous allons utiliser ici l'assistant maillage. Cliquer directement sur le bouton sous le tableau du cadre "Charges et raideurs linéiques selon Oy" :

- Dans le cadre "Paramètres", saisir les cotes en utilisant les listes déroulantes ou bien, dans le cadre "Aperçu", cliquer-glisser à l'aide de la souris pour sélectionner la zone souhaitée, dans son intégralité : en l'occurrence on sélection un premier côté de la plaque (par exemple celui correspondant à X = 0) ;
- En bas de la fenêtre, sélectionner "Transférer les valeurs vers une nouvelle ligne", puis cliquer sur le bouton  pour transférer les valeurs dans le projet en cours.



- Procéder ensuite de même pour le côté opposé de la plaque, en sélectionnant la ligne correspondant à X = 10 m, puis en transférant la sélection vers le projet en cours comme ci-dessus.
- Fermer la fenêtre : les données sont maintenant affichées dans le projet.
- Renseigner manuellement la "Raideur linéique sous la plaque" k_z sur chacune des 2 lignes du tableau (chaque ligne correspondant à un côté de la plaque). Les données à saisir sont les suivantes :

N°	i	j1	j2	Charge (kN/ml)	k_z (kN/m/ml)
1	1	1	21	0,00	1,00E10
2	21	1	21	0,00	1,00E10

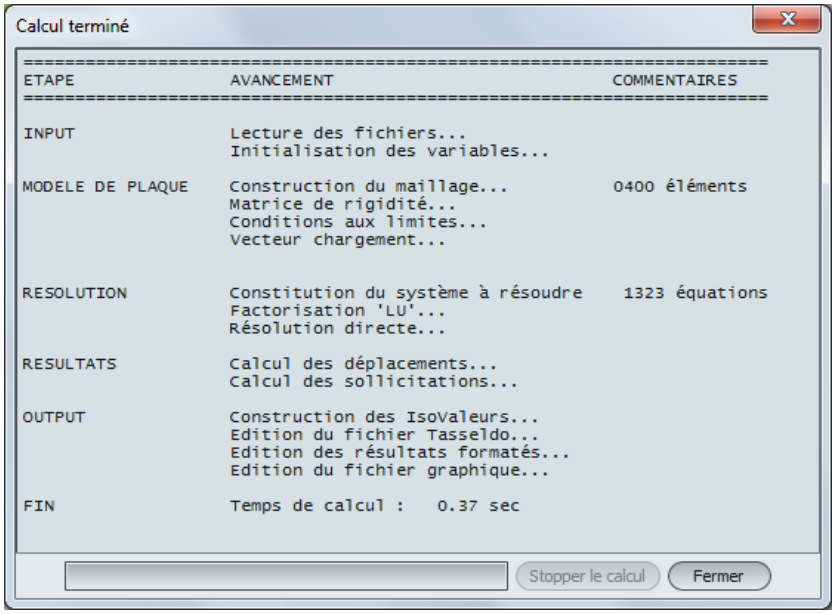
I.4.1.1.11. Onglet "Charges ponctuelles"

Il n'y a pas de charges ponctuelles dans cet exemple.

I.4.1.2. Calcul et Résultats

I.4.1.2.1. Calcul

Cliquer sur le bouton Lancer le calcul. Une fenêtre de calcul apparaît. Elle permet de visualiser ses différentes étapes et leur avancement. Ceci est particulièrement utile lorsque le calcul s'avère être un peu long.



Pour accéder aux résultats sous forme de tableaux et de graphiques, cliquer sur le bouton Voir les résultats.

I.4.1.2.2. Résultats

Résultats numériques :

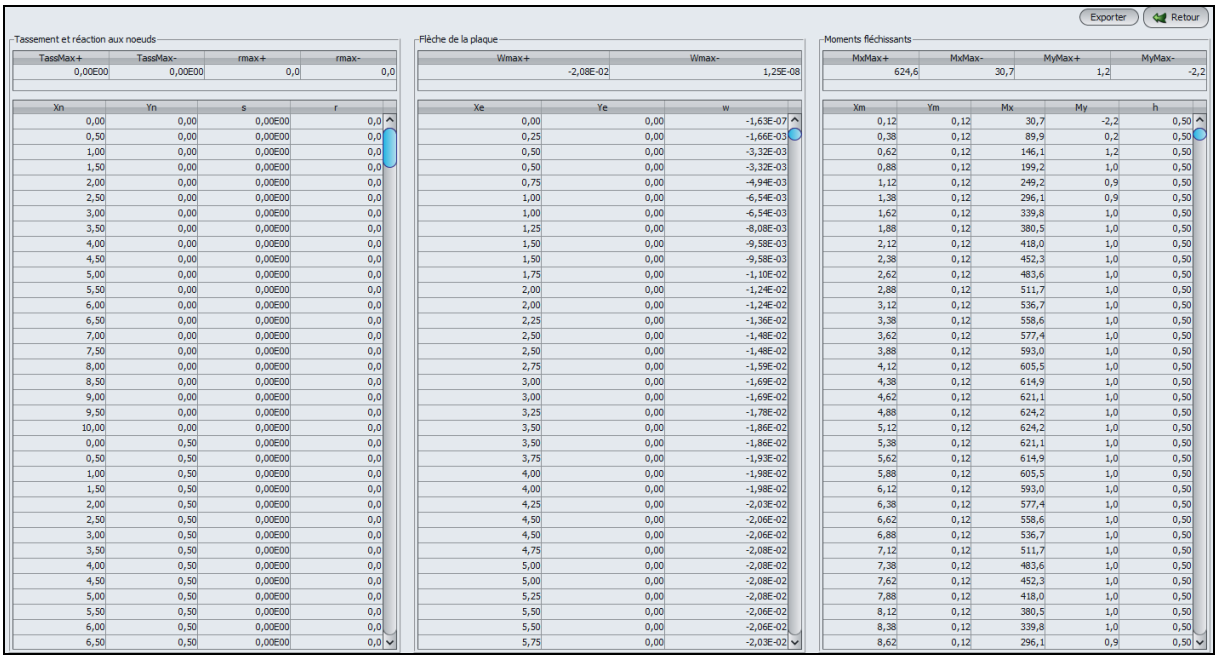
Tableau de résultats :

Cet affichage contient les résultats suivants :

- Tassement et réaction aux nœuds ;
- Flèche de la plaque (9 points par élément) ;
- Moments fléchissants (4 points par élément).

Cet écran comporte également des tableaux indiquant les valeurs maximales et minimales pour chaque type de résultat.

Les colonnes « Tassement et réaction aux nœuds » correspondent aux résultats obtenus en surface du sol support si celui-ci a été assimilé à un massif multicouche élastique (voir exemples 2 à 7). Si aucun massif multicouche n'a été défini dans le projet (cas du présent exemple), alors les valeurs affichées sont toutes nulles.



Résultats graphiques :

Coupes graphiques :

Ce bouton permet d'effectuer des coupes dans la plaque.

La fenêtre inclut notamment des tableaux indiquant les valeurs extrêmes globales obtenues pour les tassements, les réactions, les moments et la flèche. Pour obtenir ce tableau, cliquer sur le bouton [Voir] dans le cadre « valeurs extrêmes globales »

En haut de la fenêtre se trouvent quatre listes déroulantes. Pour afficher 1 ou 2 coupes, choisir la grandeur, la direction des coupes, et leur localisation.
Un tableau comportant le détail des valeurs pour la ou les coupes définie(s) peut être affiché à droite de la zone graphique : dans le cadre "Détails des coupes", cliquer sur le bouton [Voir].

Nota : les boutons [Voir] sont contextuels, ils changent de noms une fois qu'ils ont été activés et deviennent : [Masquer].

Flèche de la plaque suivant X :

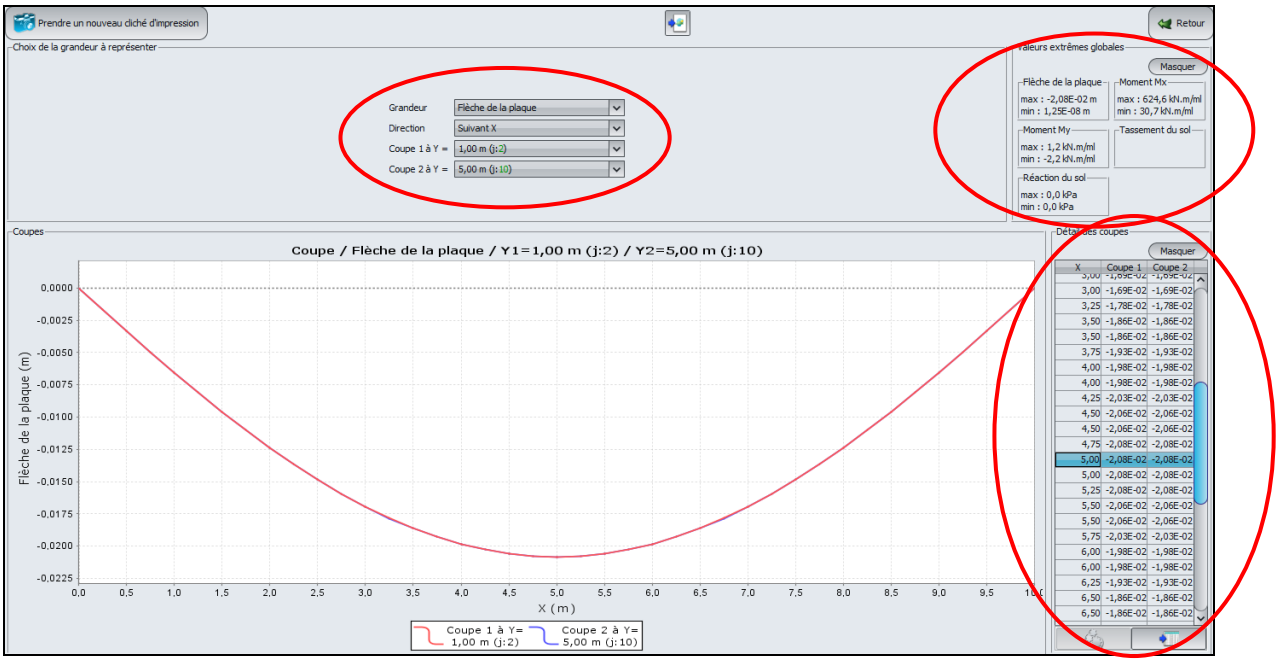
Valeurs extrêmes globales :

- Max : -2,08E-02 m (soit -2,08 cm)
- Min : 1,25E-08 m (soit 0,00 cm)

Coupe 1 à Y = 1,00 m (j : 2)

Coupe 2 à Y = 5,00 m (j : 10)

En X = 5 m (milieu de la plaque), on relève pour les 2 coupes une flèche maximale identique de 2,08 cm. Les 2 courbes correspondant aux 2 coupes sont strictement identiques : cela s'explique par le choix des conditions aux limites qui empêchent toute flexion dans la direction Oy. Les coupes selon Oy donneraient alors toutes une flèche uniforme.



Nota : dans TASPLAQ, les déplacements sont pris positifs vers le haut. Ainsi, une flèche négative est synonyme d'un « tassement ». Une flèche positive correspondra à un soulèvement par rapport au niveau initial.

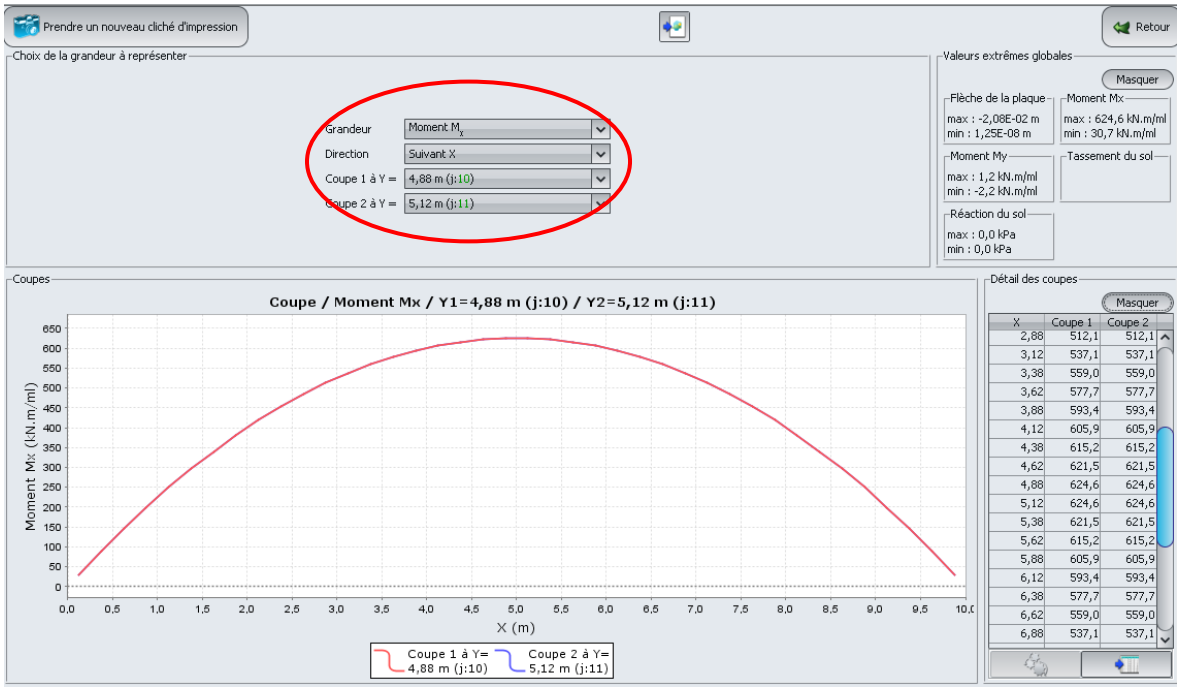
Moment M_x suivant X :

Valeurs extrêmes globales :

- Max : 625 kN.m/ml
- Min : 31 kN.m/ml

Coupe 1 à Y = 4,88 m (j : 10) : en X = 4,88 m / 5,12 m M_x de 624,6 kN.m/ml
Coupe 5 à Y = 5,12 m (j : 11) : en X = 4,88 m / 5,12 m M_x de 624,6 kN.m/ml

Les deux coupes sont strictement identiques, la valeur maximale obtenue (625 kN.m/ml) est à comparer à celle obtenue pour une poutre bi-appuyée chargée uniformément (voir §I.3.1.5).



Nota 1 : le moment M_x représente le moment de flexion autour de l'axe –Oy, tandis que le moment M_y représente le moment de flexion autour de l'axe +Ox.

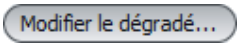
Nota 2 : un moment positif signifie que la fibre inférieure est en traction.

Nuage de points :

La fenêtre comporte en haut une liste déroulante qui permet de choisir la grandeur à visualiser en nuage de points.

L'intérêt de cette fenêtre est d'aider l'utilisateur à visualiser l'évolution d'une grandeur donnée, ce qui permet notamment de choisir les coupes les plus pertinentes.

La légende à droite du nuage de points présente une plage de couleurs qui renvoie chacune à un intervalle d'intensité pour la grandeur sélectionnée.

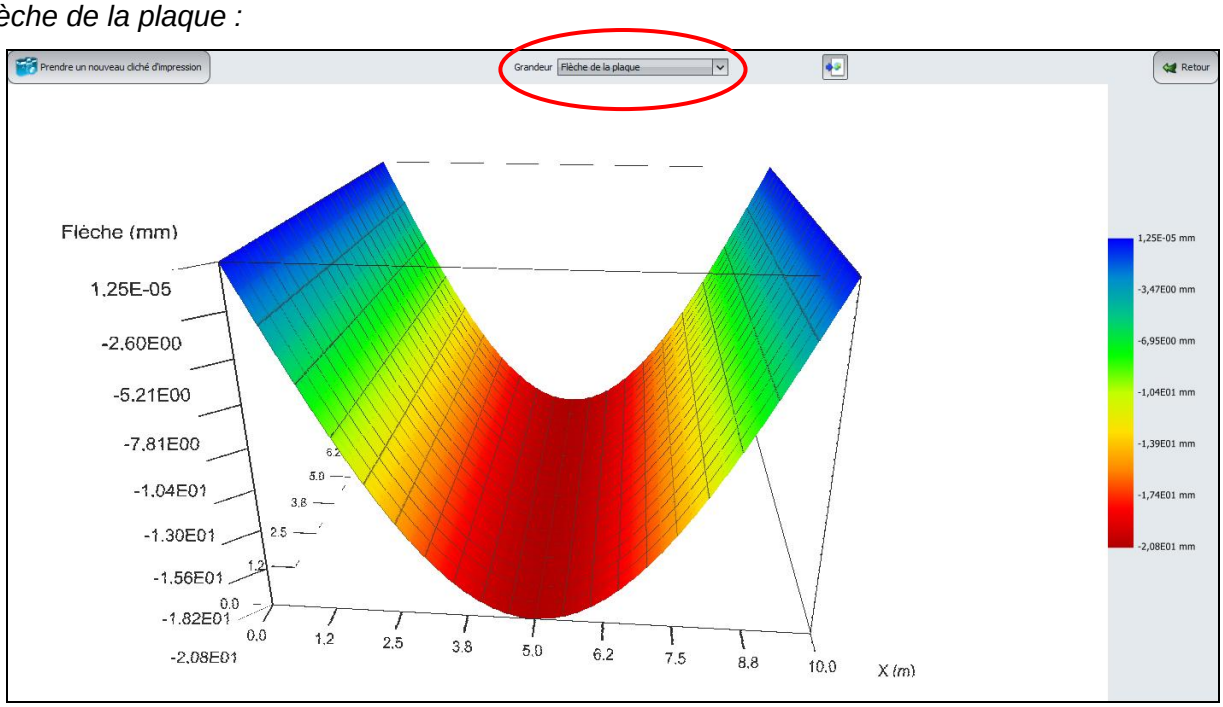
Un bouton 

permet de modifier le dégradé afin de mettre en valeur certaines caractéristiques.

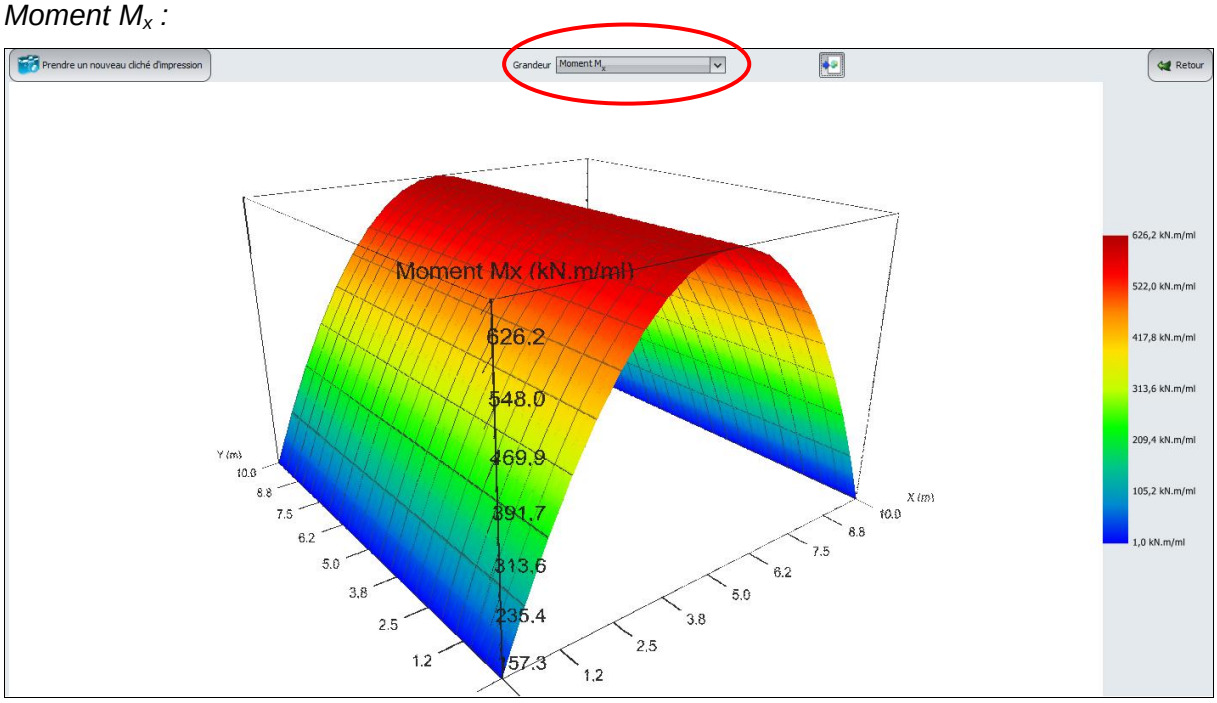
Graphiques 3D :

Ce bouton permet de représenter les résultats sous forme de surface tridimensionnelle. Sélectionner la grandeur souhaitée dans la liste déroulante disponible en haut de la fenêtre.

Flèche de la plaque :



Moment M_x :



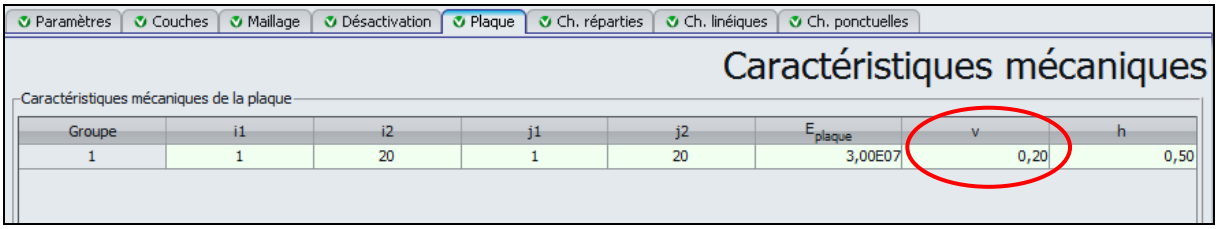
I.4.1.3. Etape 2 : Plaque appuyée sur quatre côtés

Pour revenir au mode données, cliquer sur le bouton Retour puis sur Retour aux données.

Enregistrer votre projet sous un autre nom : "Plaque appuyée sur 4 côtés" par exemple.

I.4.1.3.1. Onglet "Plaque"

Nous allons modifier pour ce calcul le coefficient de poisson **ν** : ν = 0,2 (pour l'ensemble de la plaque.

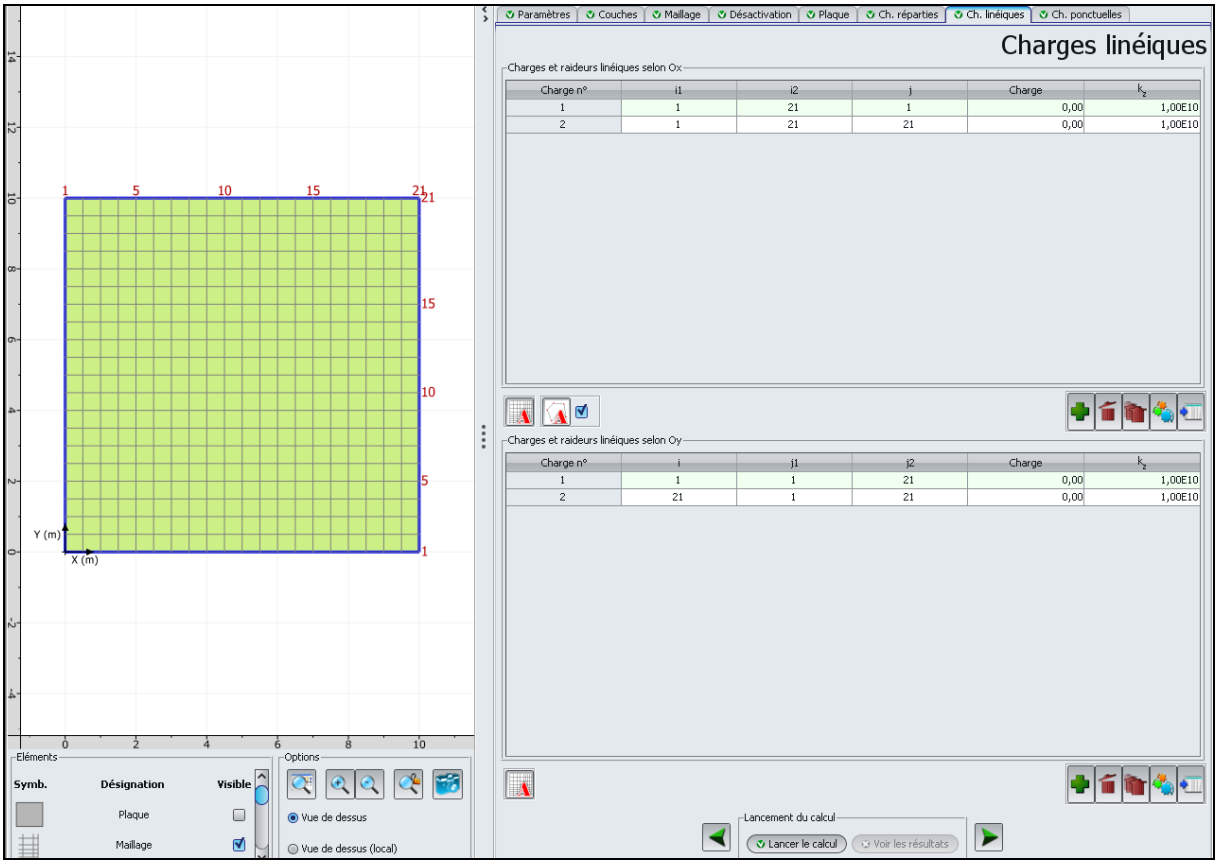


I.4.1.3.2. Onglet "Charges linéiques"

Il convient cette fois de définir des appuis simples sur les 4 côtés (au lieu de 2 dans la première étape).

On peut à nouveau utiliser l'assistant maillage pour définir 2 nouvelles lignes, cette fois dans le tableau "Charges et raideurs linéiques selon Ox" :

N°	i1	i2	j	Charges (kN/ml)	k_z (kN/m/ml)
1	1	21	1	0,00	1,00E10
2	1	21	21	0,00	1,00E10



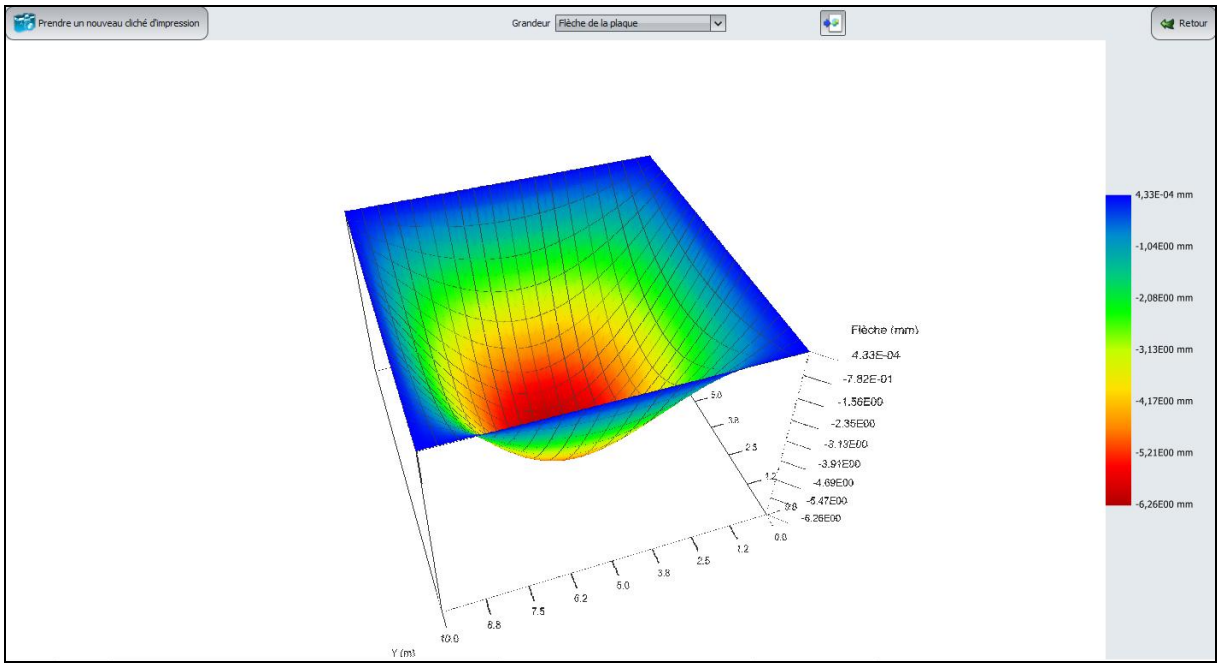
I.4.1.4. Calcul et Résultats

Relancer le calcul en cliquant sur le bouton

.

- La flèche maximale de la plaque est de 6,3 mm (cf les valeurs extrêmes globales sur l'écran des coupes, par exemple). L'affichage de la flèche en 3D ci-dessous illustre que l'on retrouve bien le comportement d'une plaque sur 4 appuis (déplacements nuls sur les bords notamment).
- Les valeurs maximales des moments M_x et M_y sont égales (puisque la plaque est carrée et chargée de manière uniforme), avec un maximum de 221 kN.m/ml.
  On note que la valeur maximale de M_x et M_y donnée dans les valeurs extrêmes globales sur l'écran des coupes est de 220,8 kN.m/ml, tandis que la valeur maximale indiquée pour M_x et M_y sur les graphiques 3D est de 221,7 kN.m/ml : ce léger écart s'explique par l'interpolation effectuée pour l'affichage 3D (calcul de la valeur max en X (resp. Y) = 5,0 m), tandis que l'écran des coupes affiche les extrema obtenus parmi les valeurs exactes calculées, c'est-à-dire en l'occurrence en X (resp. Y)= 4,88 m et X (resp. Y) = 5,12 m.

Résultat 3D : Flèche de la plaque



I.4.1.5. Comparaison des résultats

Comparaison des résultats :

	Flèche maximale (cm)		Moment fléchissant M_x (kN.m/ml)	
	Min	Max	Min	Max
Plaque appuyée sur 2 côtés	0,0	-2,08	31	625
Plaque appuyée sur 4 côtés	0,0	-0,63	2,5	221

Le fait d'appuyer la plaque sur ses quatre côtés réduit par un facteur de 3 l'amplitude des moments et déplacements de la plaque par rapport au cas où on l'aurait simplement appuyée sur deux côtés opposés.

On peut comparer les résultats obtenus à ceux qu'on obtiendrait en se référant aux solutions analytiques fournies dans les Techniques de l'ingénieur (voir ci-après). Pour le premier cas, le modèle est celui d'une poutre bi–appuyée, le deuxième c'est celui d'une plaque carrée appuyée sur ses quatre côtés :

Une parfaite concordance est à souligner entre les deux résultats.

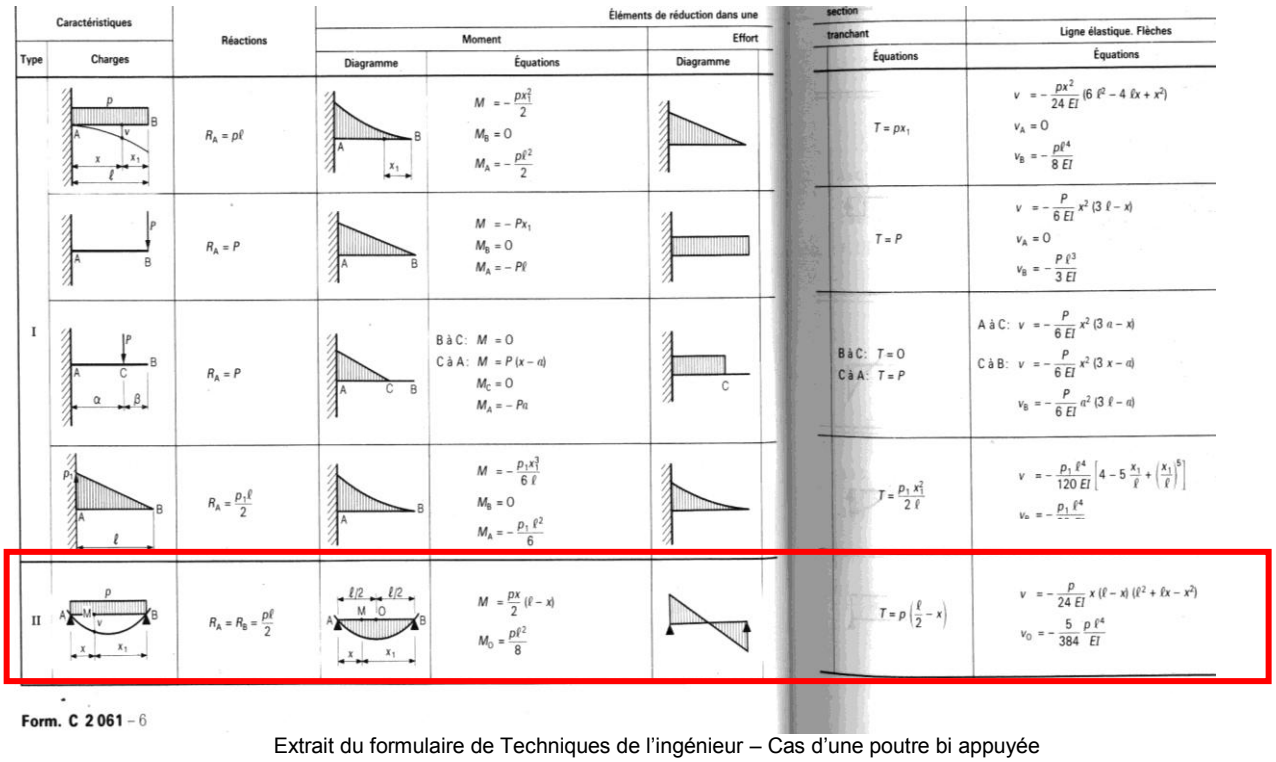
Tableau 1 : comparaison des résultats obtenus – cas de la poutre appuyée sur 2 côtés opposés :

	Moment maximal (kN.m/ml)	Flèche maximale (mm)
Résultat TASPLAQ	625	20,8
Valeur de référence (techniques de l'ingénieur)	625	20,8

Tableau 2 : comparaison des résultats obtenus – cas de la poutre appuyée sur 4 côtés :

	Moment maximal (kN.m/ml)	Flèche maximale (mm)
Résultat TASPLAQ	221	6,26
Valeur de référence (techniques de l'ingénieur)	221	6,24

Les deux figures ci-après rappellent les solutions analytiques fournies dans le formulaire de Techniques de l'ingénieur :



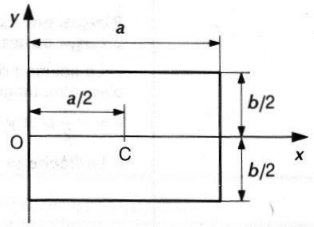
Extrait du formulaire de Techniques de l'ingénieur – Cas d'une poutre bi appuyée

Tableau LI. – Plaques rectangulaires appuyées sur 4 côtés.

La plaque est simplement appuyée sur ses côtés

$x = 0,\ x = a,\ y = -\frac{1}{2}b,\ y = \frac{1}{2}b$

On pose : $\rho = \frac{a}{b}$ et $\lambda = \frac{m\pi b}{2a} = \frac{m\pi}{2\rho}$



Plaque supportant une densité de charge constante *p* sur toute sa surface.

- La **flèche** *w* au centre C de la plaque a pour valeur :

$$w = -\frac{5\,pa^2b^2}{384\,D} f(\rho) = -\frac{5\,pa^4}{384\,D} g(\rho) = -\frac{5\,pb^4}{384\,D} h(\rho)$$

avec : $g(\rho) = 1 - \frac{768}{5} \sum_m{}' \frac{1}{m^5\pi^5} \left(\frac{2 + \lambda \operatorname{th}\lambda}{\operatorname{ch}\lambda}\right) \sin\frac{m\pi}{2}$

$f(\rho) = \rho^2 g(\rho),\quad h(\rho) = \rho^2 f(\rho),\quad f\left(\frac{1}{\rho}\right) = f(\rho),\quad g\left(\frac{1}{\rho}\right) = h(\rho)$

On peut donc supposer $\rho < 1$.

ρ	$f(\rho)$	$g(\rho)$	$h(\rho)$
0	0	1	0
0,1	0,01000	1,00000	0,00010
0,2	0,03985	0,99616	0,00159
0,3	0,08652	0,96135	0,00779
0,4	0,14126	0,88288	0,02260
0,5	0,19447	0,77788	0,04862
0,6	0,23963	0,66565	0,08627
0,7	0,27370	0,55857	0,13411
0,8	0,29624	0,46288	0,18959
0,9	0,30839	0,38073	0,24979
1	0,31199	0,31199	0,31199

- Les **moments fléchissants** au centre C de la plaque ont pour valeurs :

$$M_1 = pab\,[F(\rho) + \nu\, G(\rho)] \quad \text{et} \quad M_2 = pab\,[\nu\, F(\rho) + G(\rho)]$$

avec $\begin{cases} F(\rho) = \rho\left[\frac{1}{8} - \sum_m{}' \frac{2}{m^3\pi^3}\left(\frac{2 + \lambda \operatorname{th}\lambda}{\operatorname{ch}\lambda}\right)\sin\frac{m\pi}{2}\right] \\ G(\rho) = \sum_m{}' \frac{1}{m^3\pi^3}\left(\frac{\operatorname{th}\lambda}{\operatorname{ch}\lambda}\right)\sin\frac{m\pi}{2} \end{cases}$

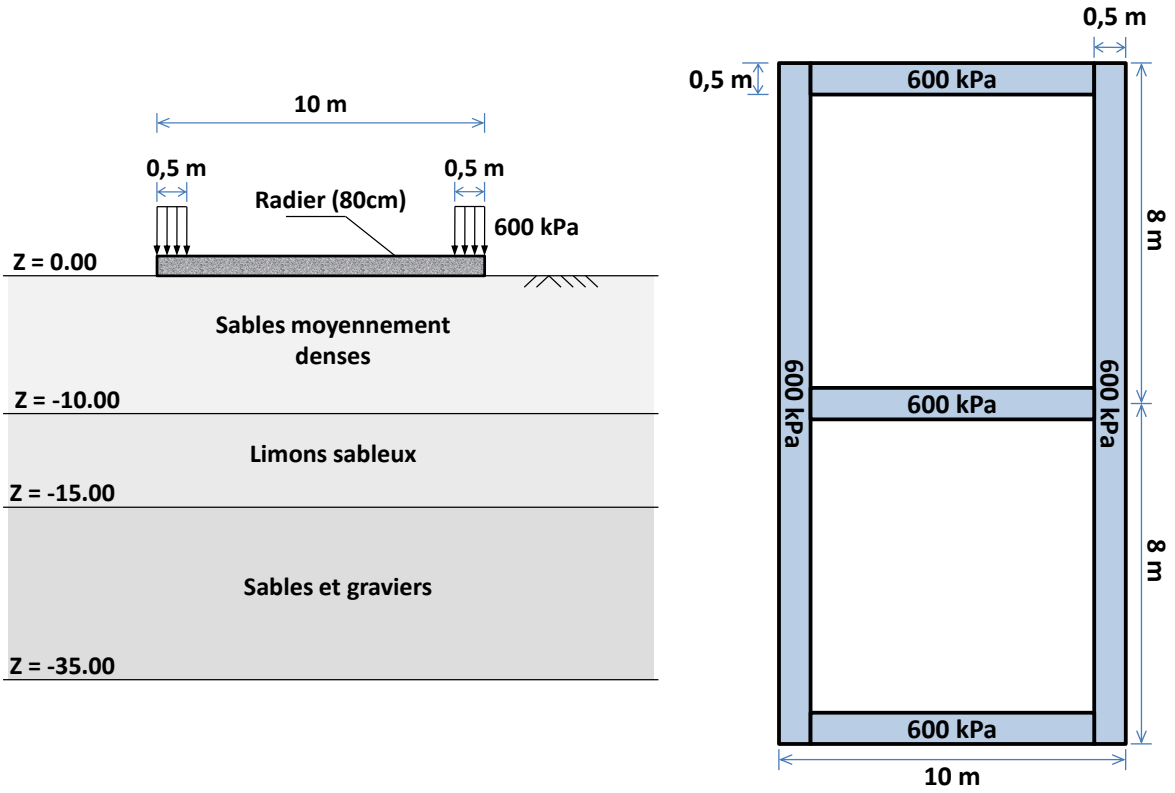
En permutant *a* et *b*, on voit que $F\left(\frac{1}{\rho}\right) = G(\rho)$; on peut donc supposer $\rho < 1$.

ρ	$F(\rho)$	$G(\rho)$	ρ	$F(\rho)$	$G(\rho)$
0	0	0	0,55	0,049086	0,011532
0,05	0,006250	0,000000	0,60	0,049229	0,014540
0,10	0,012500	0,000000	0,65	0,048771	0,017638
0,15	0,018743	0,000006	0,70	0,047821	0,020749
0,20	0,024901	0,000079	0,75	0,046484	0,023805
0,25	0,030751	0,000378	0,80	0,044853	0,026755
0,30	0,036010	0,001078	0,85	0,043009	0,029557
0,35	0,040457	0,002277	0,90	0,041021	0,032183
0,40	0,043980	0,003988	0,95	0,038947	0,034613
0,45	0,046586	0,006159	1	0,036836	0,036836
0,50	0,048230	0,008706			

Extrait du formulaire de Techniques de l'ingénieur – cas d'une plaque appuyée sur ses 4 côtés

I.4.2. Exemple 2 : Radiers sous chargements localisés

Cet exemple concerne l'étude d'un radier rectangulaire homogène de dimensions 10 m x 16 m soumis à un chargement localisé représentatif de voiles périphériques et d'un voile central de séparation. Les données du problème sont décrites dans la figure ci-dessous :



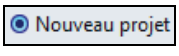
I.4.2.1. Etape 1 : Radier isolé

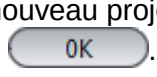
I.4.2.1.1. Saisie des données

A l'ouverture de l'application, Foxta propose :

- de créer un nouveau projet
- d'ouvrir un projet existant
- d'ouvrir automatiquement le dernier projet utilisé.

Dans le cas de cet exemple :

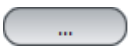
- Choisir de créer un nouveau projet en sélectionnant le radio-bouton 

- Cliquer sur le bouton 

.

I.4.2.1.2. Assistant Nouveau projet

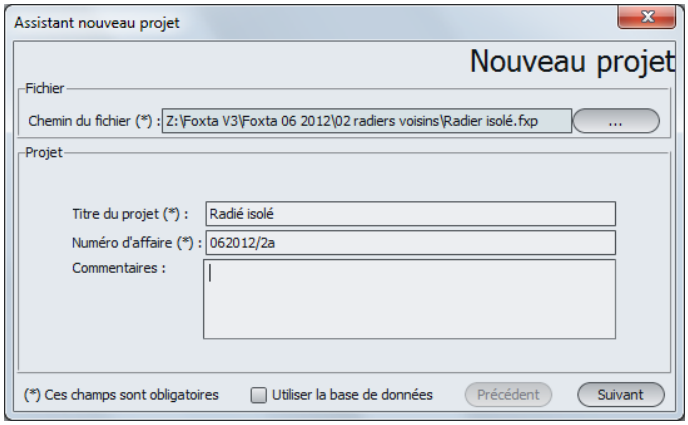
Cadre "Fichier" :

- Renseigner le chemin du projet en cliquant sur le bouton 

- Donner un nom au fichier et l'enregistrer.

Cadre "Projet" :

- Donner un titre au projet
- Saisir un numéro d'affaire
- Compléter avec un commentaire si besoin
- Laisser la case "Utiliser la base de données" décochée (nous n'utiliserons pas la base de données pour cet exemple), et cliquer sur le bouton Suivant.



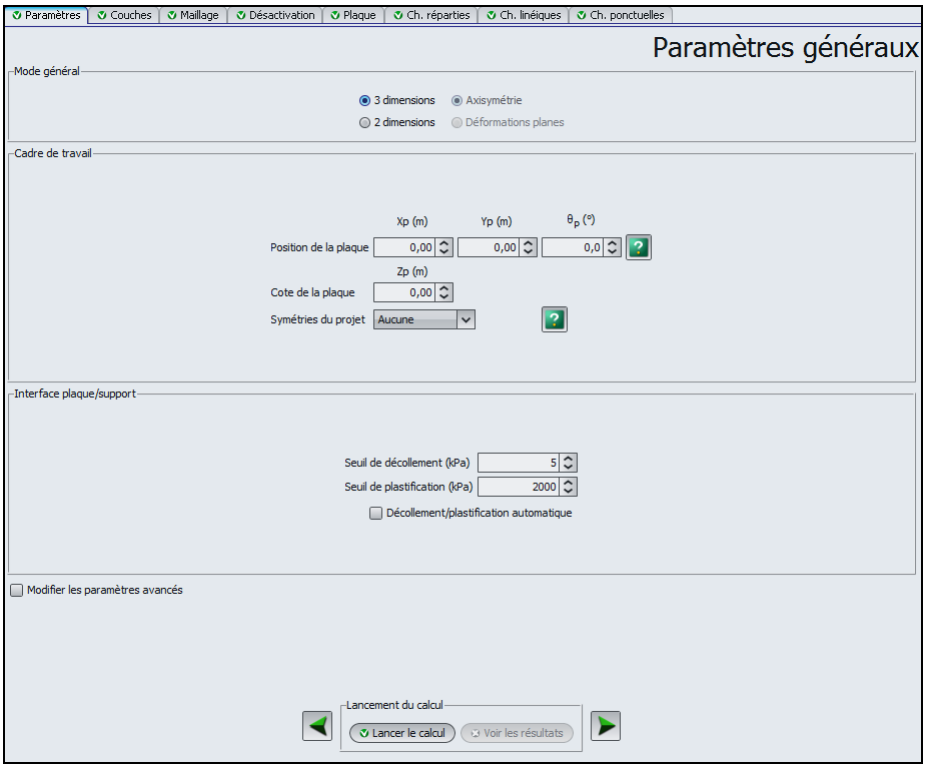
I.4.2.1.3. Assistant nouveau projet : Choix des modules

Sélectionner le module TASPLAQ puis cliquer sur le bouton Créer.

Ouvrir le module TASPLAQ puis compléter les différents onglets de données proposés.

I.4.2.1.4. Onglet "Paramètres"

Cet onglet contient quatre cadres différents :



Cadre "Mode général" :

Le problème étudié étant tridimensionnel, cliquer sur le radio-bouton "3 dimensions".

"Cadre de travail" :

- Position de la plaque :
  Dans cet exemple, le repère local de la plaque représentative du radier est pris identique au repère global du modèle. Le point (0,0) représente le coin "bas–gauche" du modèle.

X_p (m)	Y_p (m)	θ_p (°)
0.0	0.0	0.0

- Cote de la plaque : Z_p = 0.0 m (cote de référence = cote de la sous-face du radier).
- Symétrie de projet : Aucune

Cadre "Interface plaque/support" :

Ce cadre permet d'activer la gestion automatique des critères de décollement et de plastification à l'aide de critères définis par l'utilisateur. Les valeurs par défaut sont conservées dans cet exemple (option désactivée).

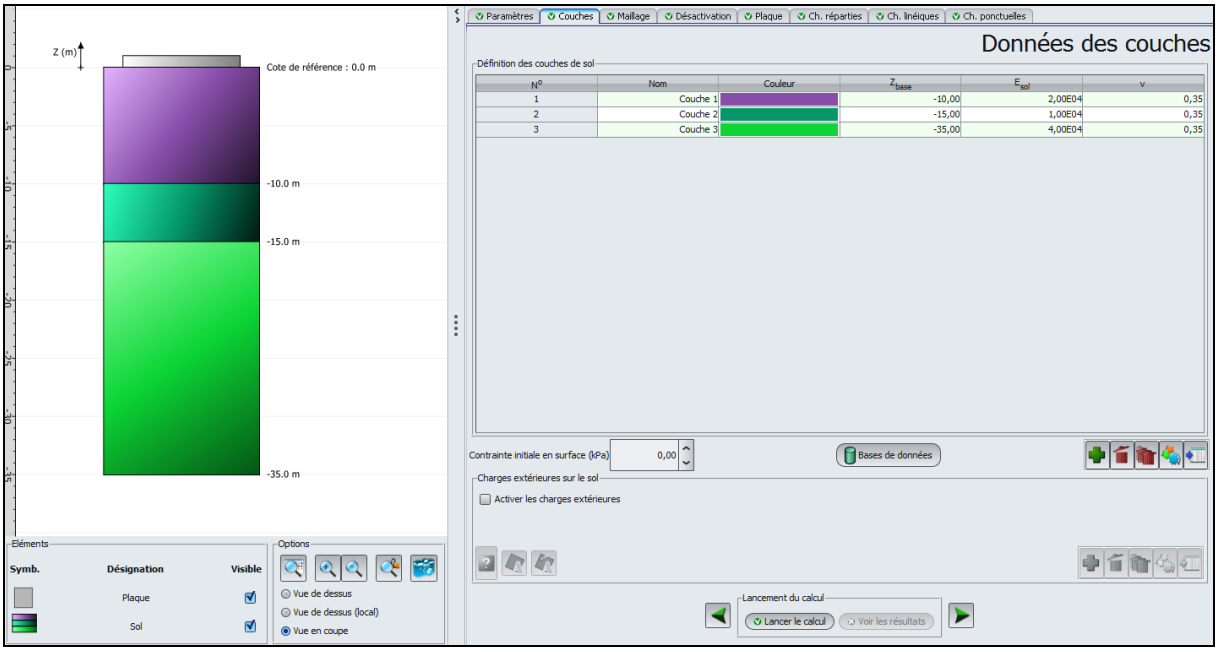
Seuil de décollement	5 kPa
Seuil de plastification	2000 kPa

- Décollement/plastification automatique : Décochée
- Modifier les paramètres avancés : Décochée

Pour passer à l'onglet suivant, cliquer soit sur le nom de l'onglet "Couches", soit sur le bouton .

I.4.2.1.5. Onglet "Couches"

Cet onglet contient deux cadres différents :



Cadre "Définition des couches de sol" :

Cliquer sur le bouton pour créer chacune des 3 couches.

Le sol sera modélisé ici comme un massif multicouche élastique (3 couches). Les données à saisir pour les différentes couches de sol sont les suivantes :

Nom	Z_{base} (m)	E_{sol} (kPa)	ν
Couche 1	-10,00	2,00E+04	0,35
Couche 2	-15,00	1,00E+04	0,35
Couche 3	-35,00	4,00E+04	0,35

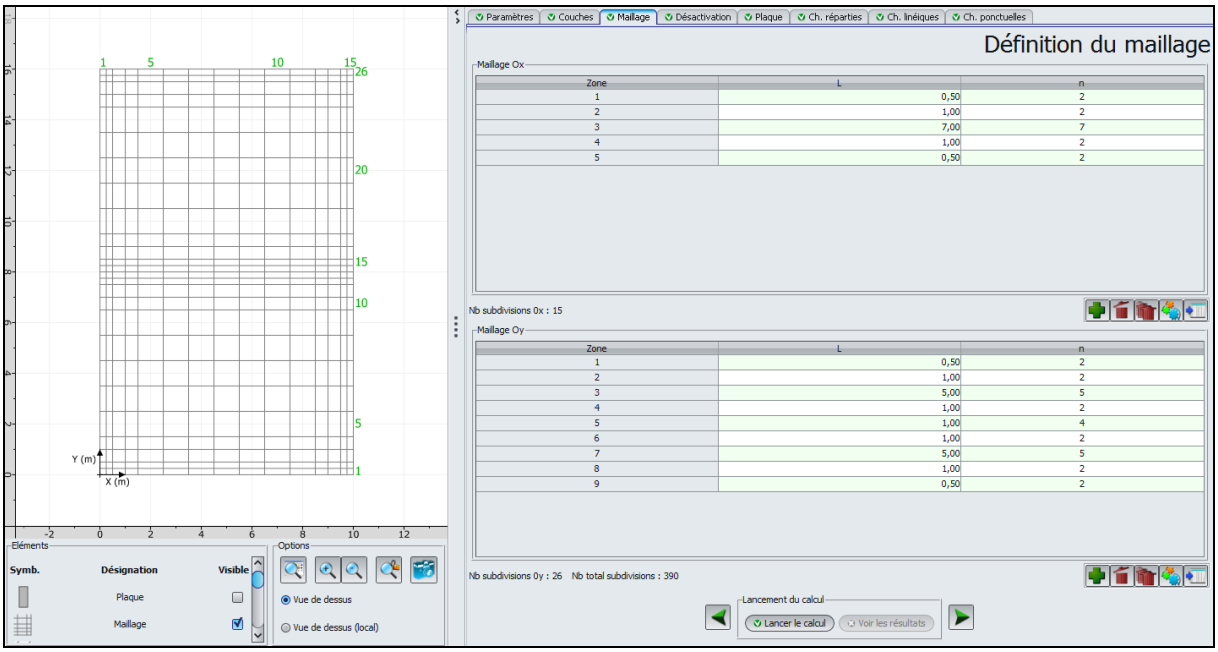
- Contrainte initiale en surface : 0 kPa

Cadre "Charge extérieure sur le sol" :

- Activer les charges extérieures : Décochée

I.4.2.1.6. Onglet "Maillage"

Cet onglet contient deux cadres différents :



Cadre "Maillage Ox" :

Saisir le maillage en indiquant la longueur et le nombre de subdivisions de chaque zone (5 zones à définir selon Ox pour cet exemple).

Le maillage proposé présente un raffinement au droit des zones de chargement (voiles périphériques et central). C'est pourquoi notre maillage est divisé en 5 zones : une zone centrale (zone 3), deux zones périphériques (1 et 5) et deux zones intermédiaires (2 et 4).

Zone	L (m)	n
1	0,50	2
2	1,00	2
3	7,00	7
4	1,00	2
5	0,50	2

Cadre Maillage Oy :

Saisir le maillage en indiquant la longueur et le nombre de subdivisions de chaque zone. Le même principe de maillage que ci-dessus est pris en compte selon l'axe Oy (9 zones à définir).

Notre maillage est divisé en 9 zones selon Oy : trois zones "voile" (1, 5 et 9), deux zones "centrales" (3 et 7) et quatre zones intermédiaires (2, 4, 6 et 8)

Zone	L (m)	n
1	0,50	2
2	1,00	2
3	5,00	5
4	1,00	2
5	1,00	4
6	1,00	2
7	5,00	5
8	1,00	2
9	0,50	2

I.4.2.1.7. Onglet "Désactivation"

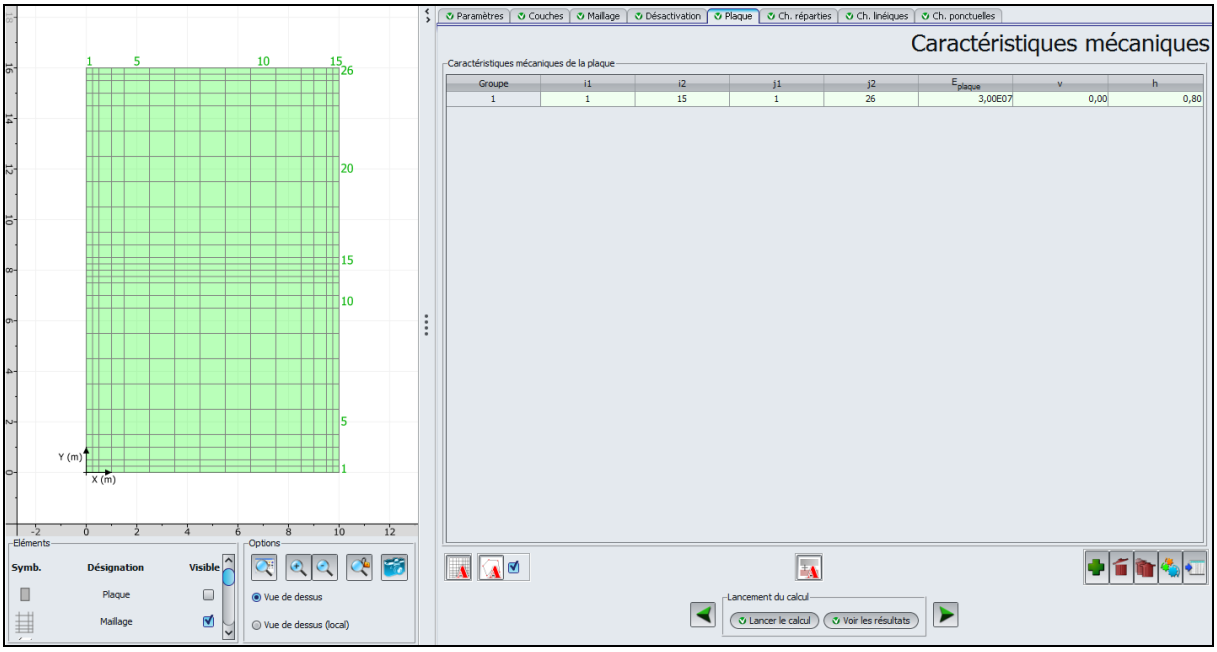
Dans cet exemple, il n'y a pas d'élément à désactiver, la plaque représentative du radier est pleine et continue. Le cadre "Désactivation des éléments" est laissé vide.

I.4.2.1.8. Onglet "Plaque"

Les caractéristiques mécaniques du radier sont définies par zones rectangulaires. Chaque zone rectangulaire est définie à l'aide des numéros (i1/i2 selon Ox, et j1/j2 selon Oy) des éléments qui la délimitent.

Dans cet exemple le radier est homogène et continu. Pour définir ses caractéristiques, il suffit donc de définir une seule zone couvrant tout le modèle : soit de i1 = 1 à i2 = 15 selon Ox et de j1 = 1 à j2 = 26 selon Oy, conformément aux découpages effectués précédemment.

Créer une ligne dans le tableau : Tasplaq définit par défaut les valeurs de i1, i2, j1 et j2 de manière à couvrir toute la plaque.



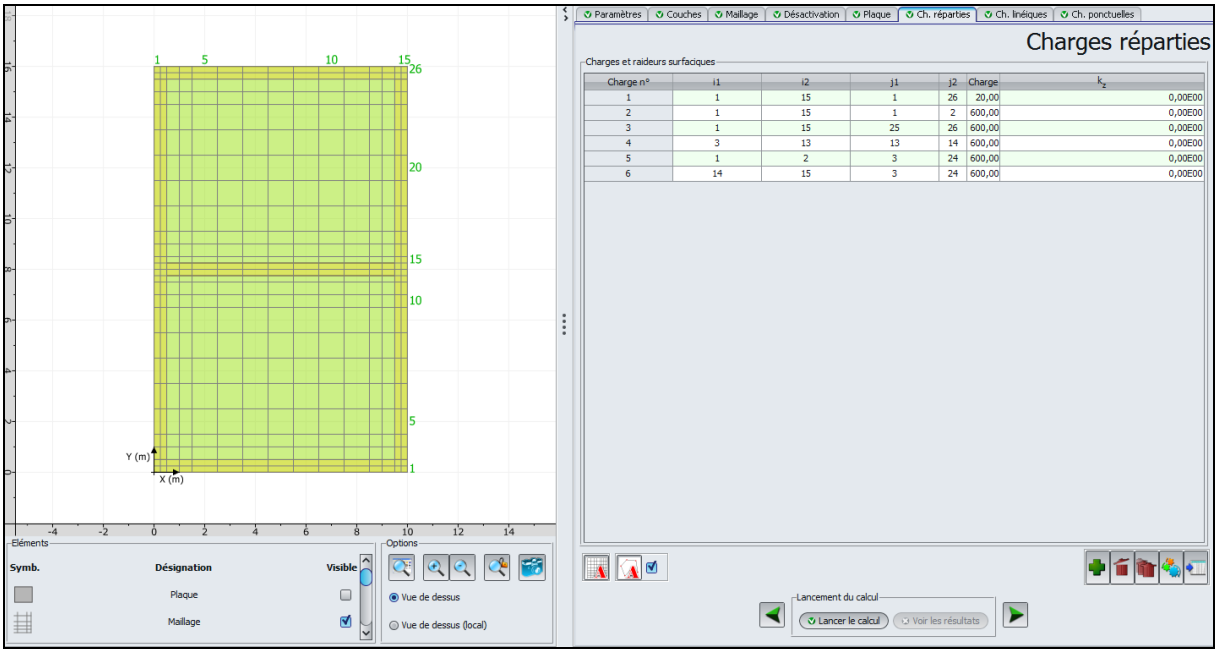
Les données à saisir sont les suivantes :

Groupe	i1	i2	j1	j2	E_{plaque} (kPa)	ν	h (m)
1	1	15	1	26	3,00E+07	0,00	0,80

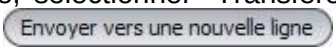
Le choix d'un coefficient de Poisson nul s'explique par l'hypothèse d'un radier constitué en béton armé.

I.4.2.1.9. Onglet "Charges Réparties"

Le chargement inclut le poids propre du radier sur toute la surface (20 kPa) de la plaque et les charges amenées par les voiles (600 kPa sur des bandes de 50 cm de large).

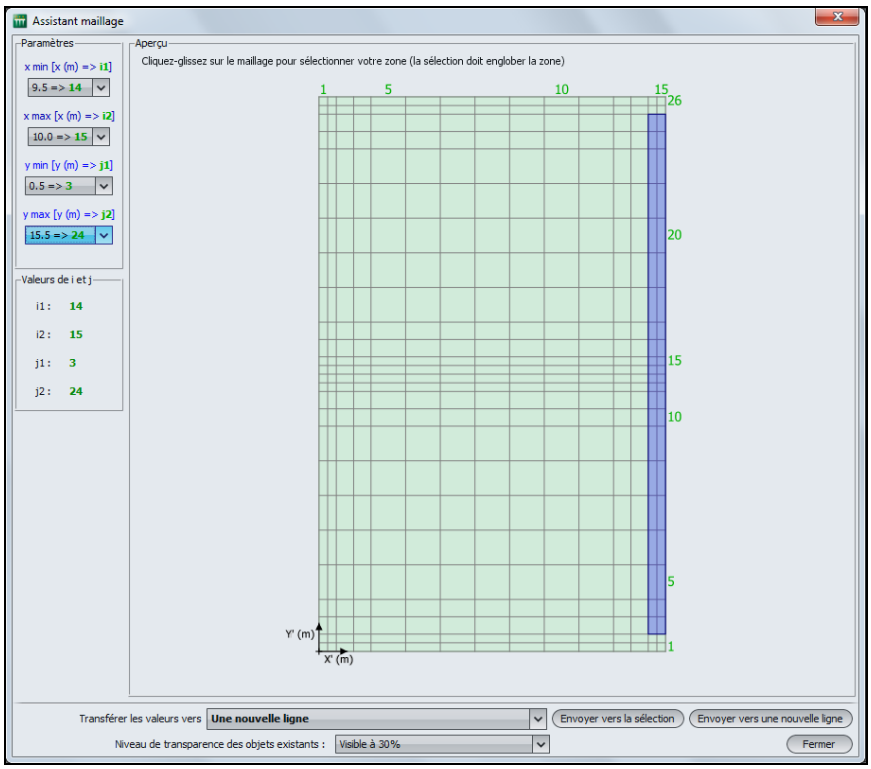


Nous allons utiliser ici l'assistant maillage. Cliquer directement sur le bouton :

- Dans le cadre "Paramètres", saisir les cotes en utilisant les listes déroulantes ou dans le cadre "Aperçu", cliquer-glisser à l'aide de la souris pour sélectionner la zone dans son intégralité.
- En bas de la fenêtre, sélectionner "Transférer les valeurs vers Une nouvelle ligne" puis cliquer sur le bouton 

pour importer les valeurs dans le projet.
- Reproduire l'opération pour les 5 zones correspondant aux voiles périphériques et au voile central de séparation, en évitant les chevauchements entre les différentes zones chargées (sinon les charges s'additionneraient dans les zones de chevauchement).
-

la fenêtre : les données sont maintenant affichées dans le projet.



- Renseigner manuellement la valeur de la charge sur chaque ligne (20 kPa pour la charge généralisée, et 600 kPa pour les zones correspondant aux voiles) :

Charge n°	i1	i2	j1	j2	Charge (kPa)	k_z (kPa/m)
1	1	15	1	26	20	0
2	1	15	1	2	600	0
3	1	15	25	26	600	0
4	3	13	13	14	600	0
5	1	2	3	24	600	0
6	14	15	3	24	600	0

Nota : il convient de noter que si plusieurs chargements sont définis sur la même zone, alors ils s'additionnent. Ainsi, dans le calcul, les zones de chargement représentatives des voiles se voient au final attribuer une charge totale de 620 kPa.

I.4.2.1.10. Onglet "Charges linéiques"

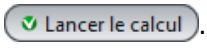
Il n'y a pas de charges linéiques dans cet exemple.

I.4.2.1.11. Onglet "Charges ponctuelles"

Il n'y a pas de charges ponctuelles dans cet exemple.

I.4.2.2. Calcul et Résultats

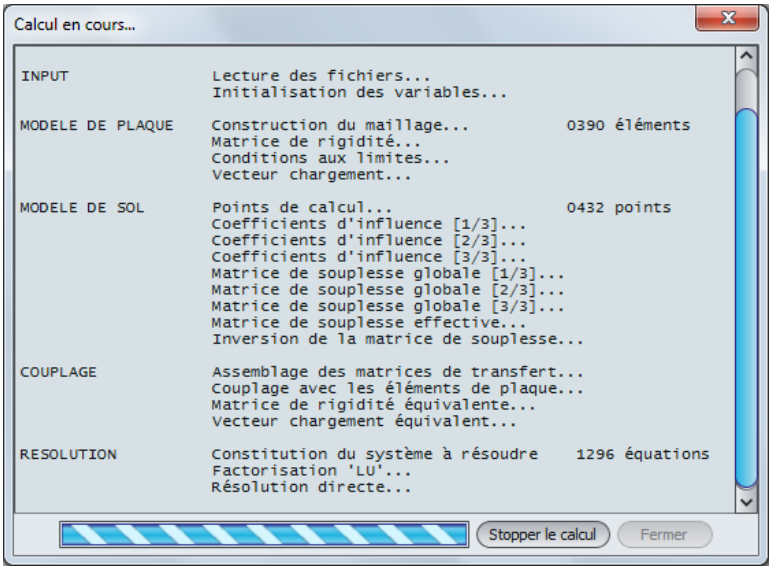
I.4.2.2.1. Calcul

Cliquer sur le bouton 

.

Un clic sur ce bouton lancera le calcul et affichera la fenêtre suivante :

Cette fenêtre permet de visualiser l'avancement du moteur de calcul.

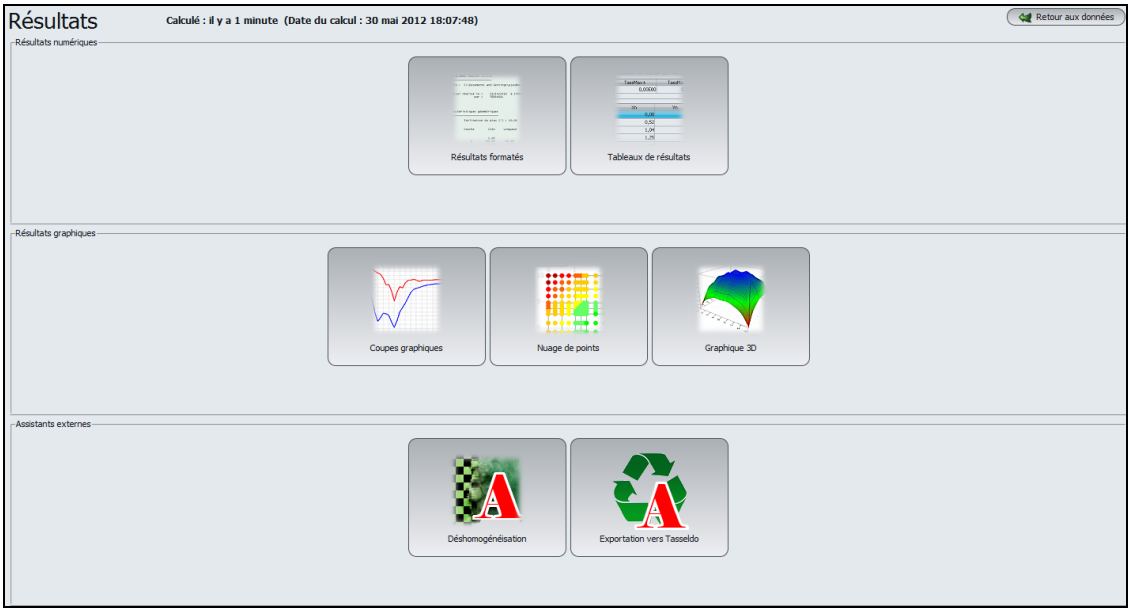


Cliquer sur le bouton Fermer pour fermer la fenêtre à la fin du calcul.

Pour accéder aux résultats sous forme de tableaux et de graphiques, cliquer sur le bouton Voir les résultats

I.4.2.2.2. Résultats

Ci-dessous les différents types de résultats disponibles (numériques et graphiques) :



Résultats numériques :

Résultats formatés :

Cet affichage contient un récapitulatif des options de calcul, des données de départ et des résultats.

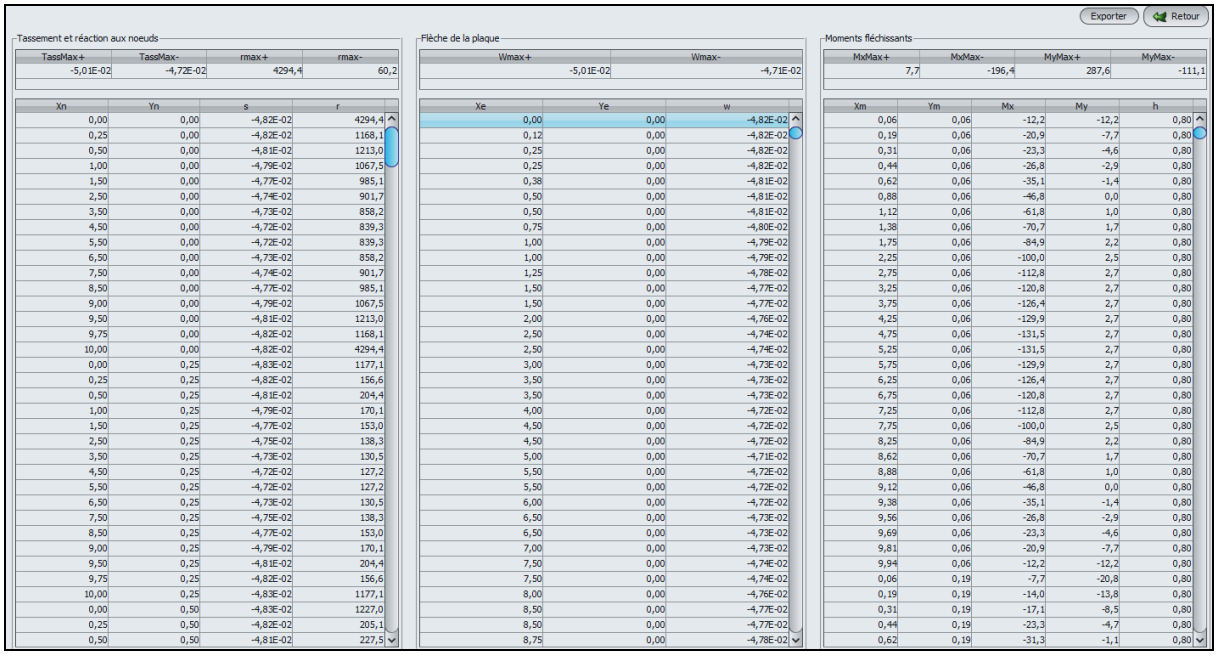
Efforts tranchants (COORDONNEES LOCALES)

Xt	Yt	Tx	Ty
0.125	0.125	13.533	13.187
0.375	0.125	16.986	-15.437
0.750	0.125	44.136	-25.909
1.250	0.125	43.505	-19.295
2.000	0.125	32.417	-38.071
3.000	0.125	16.673	-30.722
4.000	0.125	6.896	-27.238
5.000	0.125	0.000	-26.640
6.000	0.125	-6.896	-27.238
7.000	0.125	-16.673	-30.722
8.000	0.125	-32.417	-38.071
8.750	0.125	-43.505	-19.295
9.250	0.125	-44.136	-25.909
9.625	0.125	-16.986	-15.437
9.875	0.125	-13.533	13.187
0.125	0.375	-15.132	14.737
0.375	0.375	23.781	21.397
0.750	0.375	53.775	48.917
1.250	0.375	60.003	59.801
2.000	0.375	37.401	77.110
3.000	0.375	18.229	78.640
4.000	0.375	7.302	80.623
5.000	0.375	0.000	81.482
6.000	0.375	-7.302	80.623
7.000	0.375	-18.229	78.640
8.000	0.375	-37.401	77.110
8.750	0.375	-60.003	59.801
9.250	0.375	-53.775	48.917
9.625	0.375	-23.781	21.397
9.875	0.375	15.132	14.737
0.125	0.750	-25.663	38.234
0.375	0.750	51.144	47.736
0.750	0.750	77.729	71.771
1.250	0.750	53.986	86.106
2.000	0.750	35.452	110.447
3.000	0.750	18.804	113.945
4.000	0.750	7.900	116.265
5.000	0.750	0.000	117.205
6.000	0.750	-7.900	116.265
7.000	0.750	-18.804	113.945
8.000	0.750	-35.452	110.447
8.750	0.750	-53.986	86.106
9.250	0.750	-77.729	71.771
9.625	0.750	-51.144	47.736
9.875	0.750	25.663	38.234
0.125	1.250	-19.372	32.151
0.375	1.250	62.002	48.165
0.750	1.250	92.083	42.289
1.250	1.250	63.298	51.630
2.000	1.250	38.812	66.268
3.000	1.250	20.576	74.699
4.000	1.250	8.831	78.030
5.000	1.250	0.000	78.976
6.000	1.250	-8.831	78.030
9.250	14.750	-92.083	-42.289
9.625	14.750	-62.002	-48.165
9.875	14.750	19.372	-32.151
0.125	15.250	-25.663	-38.234
0.375	15.250	51.144	-47.736
0.750	15.250	77.729	-71.771
1.250	15.250	53.986	-86.106
2.000	15.250	35.452	-110.447
3.000	15.250	18.804	-113.945
4.000	15.250	7.900	-116.265
5.000	15.250	0.000	-117.205
6.000	15.250	-7.900	-116.265
7.000	15.250	-18.804	-113.945
8.000	15.250	-35.452	-110.447
8.750	15.250	-53.986	-86.106
9.250	15.250	-77.729	-71.771
9.625	15.250	-51.144	-47.736
9.875	15.250	25.663	-38.234
0.125	15.625	-15.132	-14.737
0.375	15.625	23.781	-21.397
0.750	15.625	53.775	-48.917
1.250	15.625	60.003	-59.801
2.000	15.625	37.401	-77.110
3.000	15.625	18.229	-78.640
4.000	15.625	7.302	-80.623
5.000	15.625	0.000	-81.482
6.000	15.625	-7.302	-80.623
7.000	15.625	-18.229	-78.640
8.000	15.625	-37.401	-77.110
8.750	15.625	-60.003	-59.801
9.250	15.625	-53.775	-48.917
9.625	15.625	-23.781	-21.397
9.875	15.625	15.132	-14.737
0.125	15.875	13.533	-13.187
0.375	15.875	16.986	15.437
0.750	15.875	44.136	25.909
1.250	15.875	43.505	19.295
2.000	15.875	32.417	38.071
3.000	15.875	16.673	30.722
4.000	15.875	6.896	27.238
5.000	15.875	0.000	26.640
6.000	15.875	-6.896	27.238
7.000	15.875	-16.673	30.722
8.000	15.875	-32.417	38.071
8.750	15.875	-43.505	19.295
9.250	15.875	-44.136	25.909
9.625	15.875	-16.986	15.437
9.875	15.875	-13.533	-13.187

TxMax+	0.750	10.000	127.089	
TxMax-	9.250	10.000	-127.089	
TyMax+	8.000	8.375		144.787
TyMax-	2.000	7.625		-144.787

*Edition juillet 2013 - **Copyright © Foxta v3 - 2011***

Tableaux de résultats :



Résultats graphiques : flèche de la plaque

Coupe graphiques :

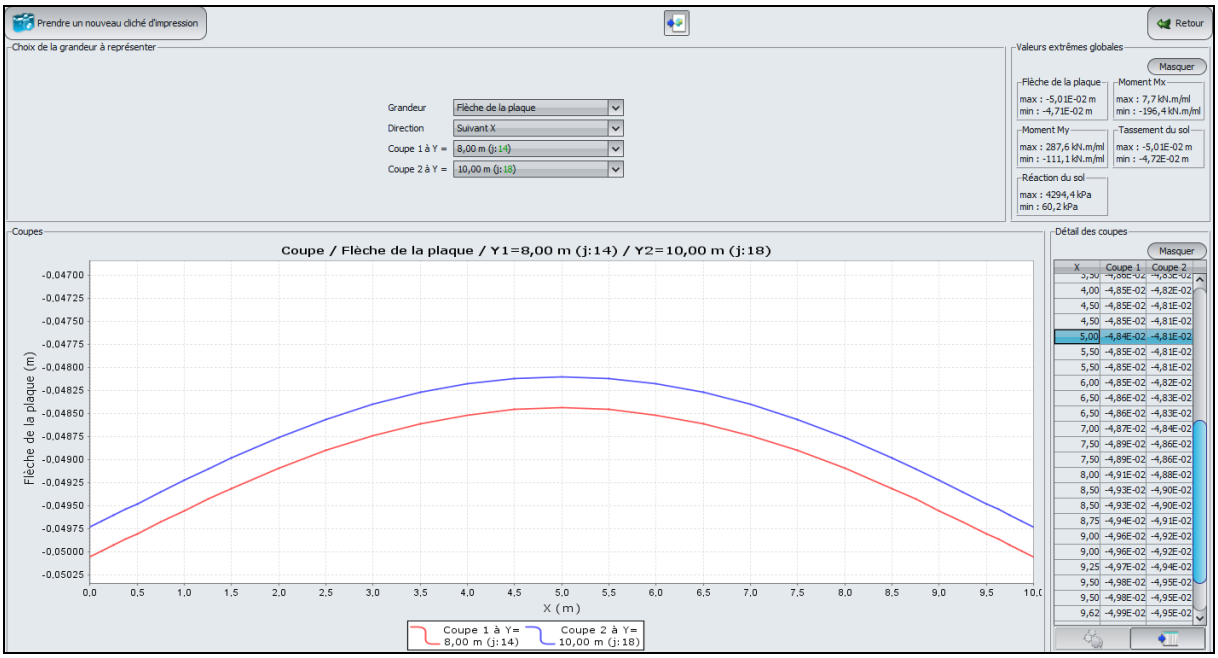
Valeurs extrêmes globales :

- Max : -5,01E-02 m (soit -5,01 cm)
- Min : -4,71E-02 m (soit -4,71 cm)

Coupe graphique suivant X avec :

Coupe 1 à Y = 8,00 m (j : 14) : en X = 5,00 m Flèche = - 4,84 cm

Coupe 2 à Y = 10,00 m (j : 18) : en X = 5,00 m Flèche = - 4,81 cm

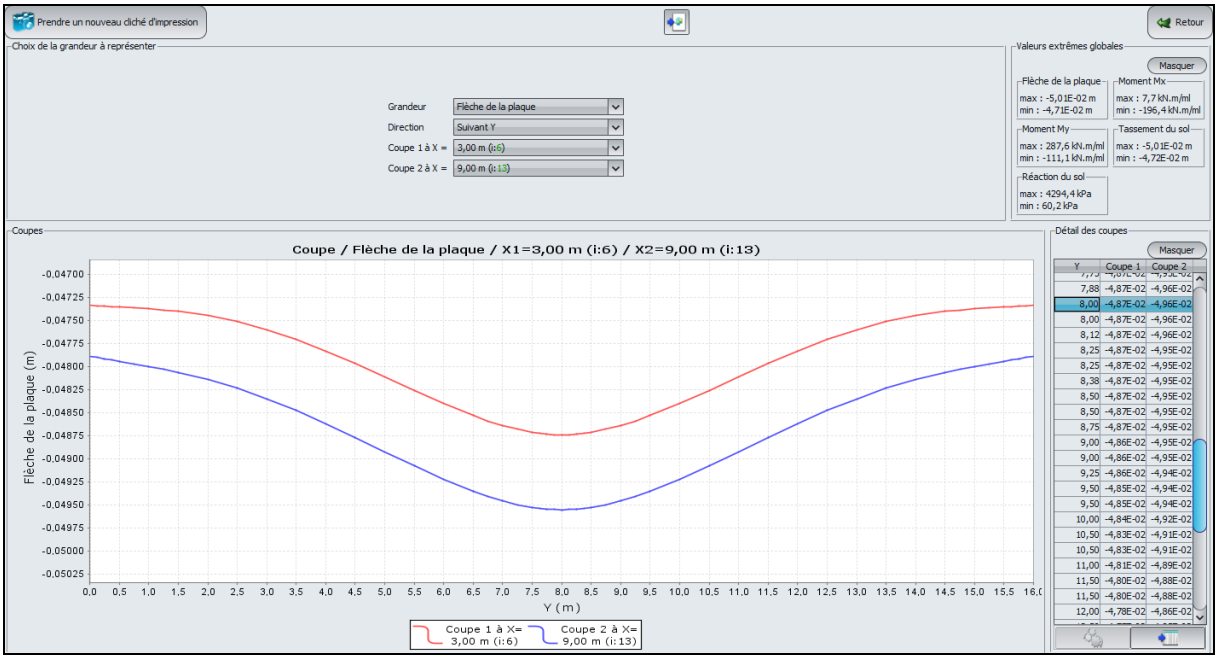

Prendre un nouveau cliché d'impression
Retour
Choix de la grandeur à représenter
Grandeur Flèche de la plaque
Direction Suivant X
Coupe 1 à Y = 8,00 m (j:14)
Coupe 2 à Y = 10,00 m (j:18)
Valeurs extrêmes globales
Masquer
Flèche de la plaque
max : -5,01E-02 m
min : -4,71E-02 m
Moment Mx
max : 7,7 kN.m/ml
min : -196,4 kN.m/ml
Moment My
max : 287,6 kN.m/ml
min : -111,1 kN.m/ml
Tassement du sol
max : -5,01E-02 m
min : -4,72E-02 m
Réaction du sol
max : 4294,4 kPa
min : 60,2 kPa
Coupes
Coupe / Flèche de la plaque / Y1=8,00 m (j:14) / Y2=10,00 m (j:18)
Flèche de la plaque (m)
X (m)
Coupe 1 à Y= 8,00 m (j:14)
Coupe 2 à Y= 10,00 m (j:18)
Détail des coupes
Masquer
X Coupe 1 Coupe 2

Rappel : dans TASPLAQ, les déplacements sont pris positifs vers le haut. Ainsi, une flèche négative est synonyme d'un tassement. Une flèche positive correspondra à un soulèvement par rapport au niveau initial.

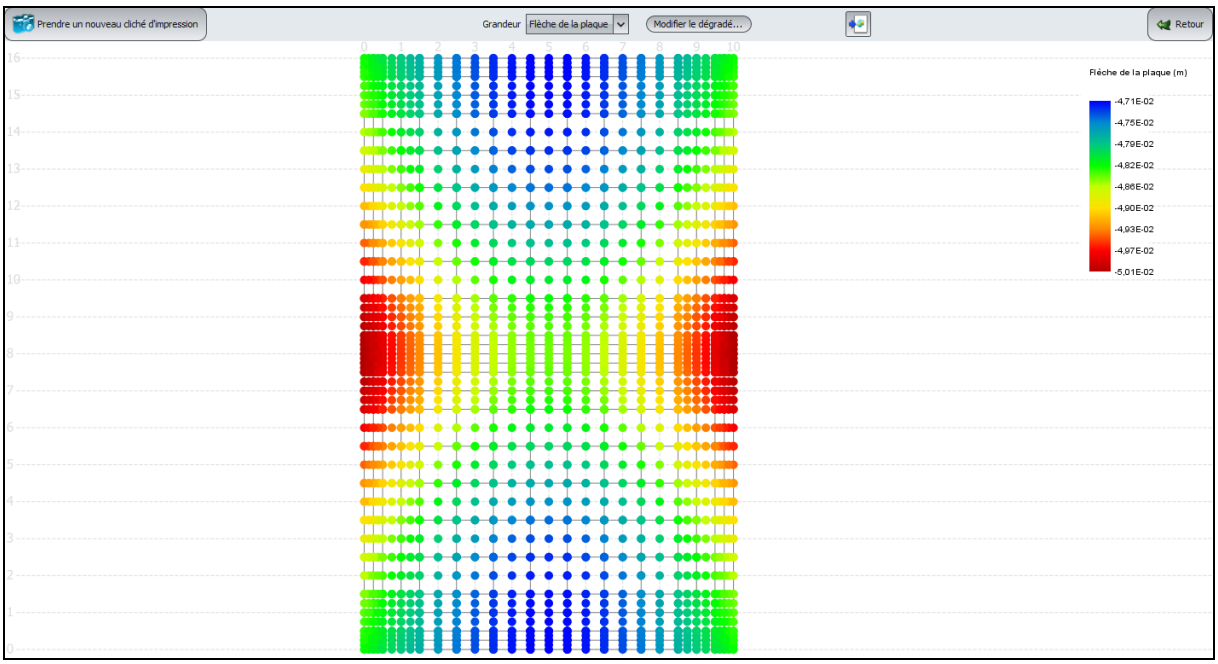
Coupe graphique suivant Y avec :

Coupe 1 à X = 3,00 m (i : 6) : en Y = 8,00 m Flèche = - 4,87 cm

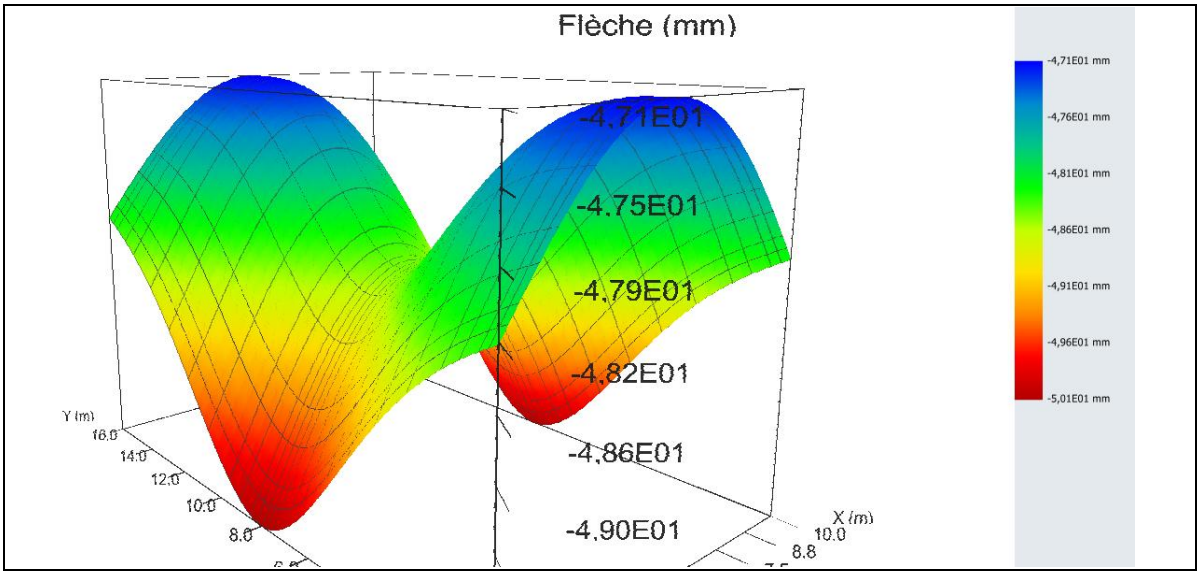
Coupe 2 à X = 9,00 m (i : 13) : en Y = 8,00 m Flèche = - 4,96 cm



Nuage de points



Graphique 3D



La flèche maximale est obtenue au centre des voiles périphériques longitudinaux.

Résultats graphiques : Moments M_y

Coupes graphiques

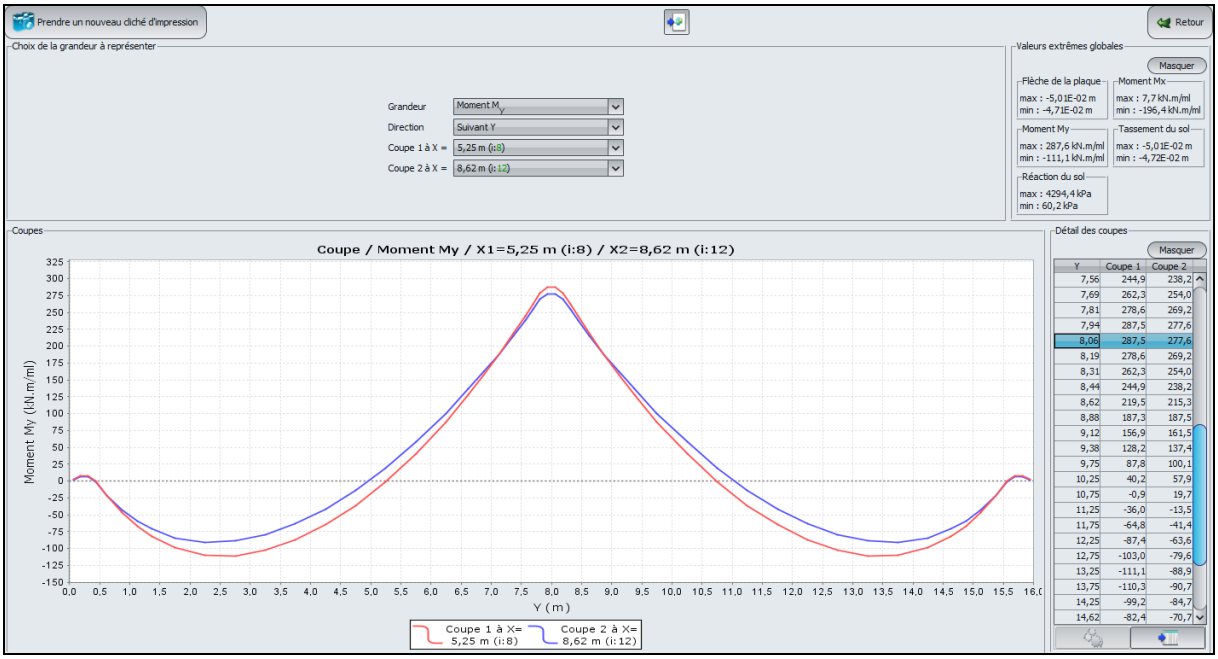
Valeurs extrêmes globales :

- Max : 288 kN.m/ml
- Min : -111 kN.m/ml

Coupe graphique suivant Y avec :

Coupe 1 à X = 5.25 m (i : 8) : en Y = 8,06 m M_y = 288 kN.m/ml

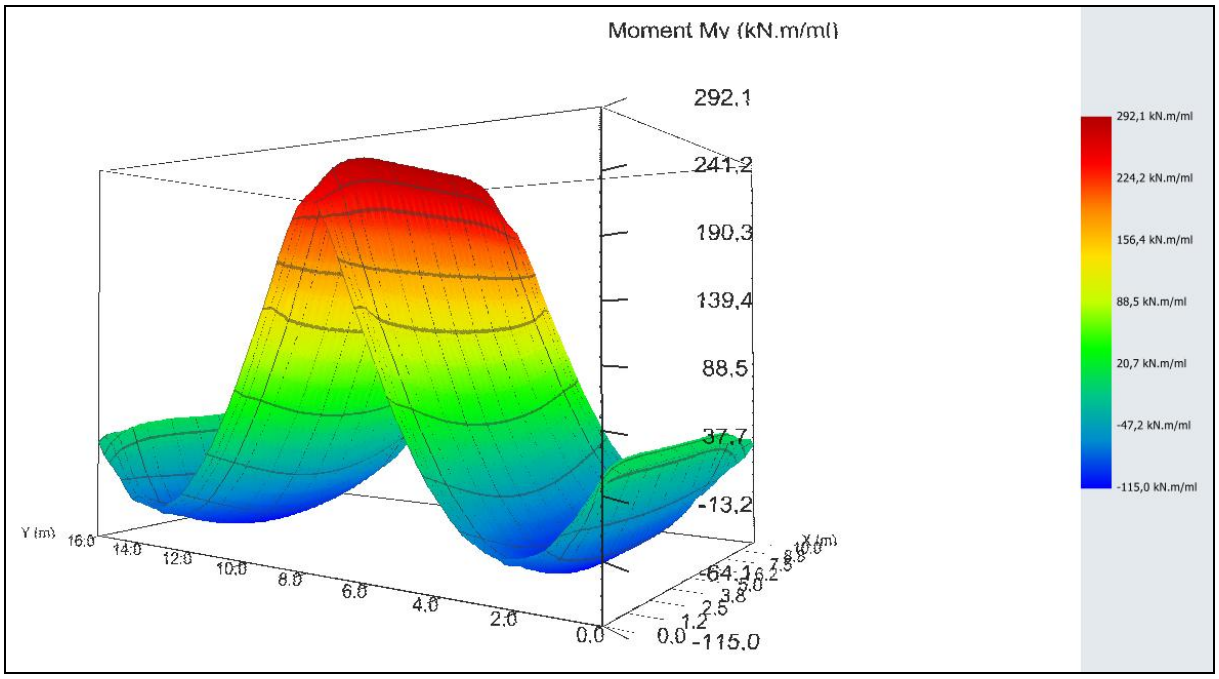
Coupe 2 à X = 8.62 m (i : 12) : en Y = 8,06 m M_y = 278 kN.m/ml



Nota 1 : le moment M_x représente le moment de flexion autour de l'axe -Oy, tandis que le moment M_y représente le moment de flexion autour de l'axe Ox.

Nota 2 : un moment positif signifie que la fibre inférieure est en traction.

Graphique 3D :



Résultats graphiques : réaction du sol

Réaction du sol :

Coupes graphiques

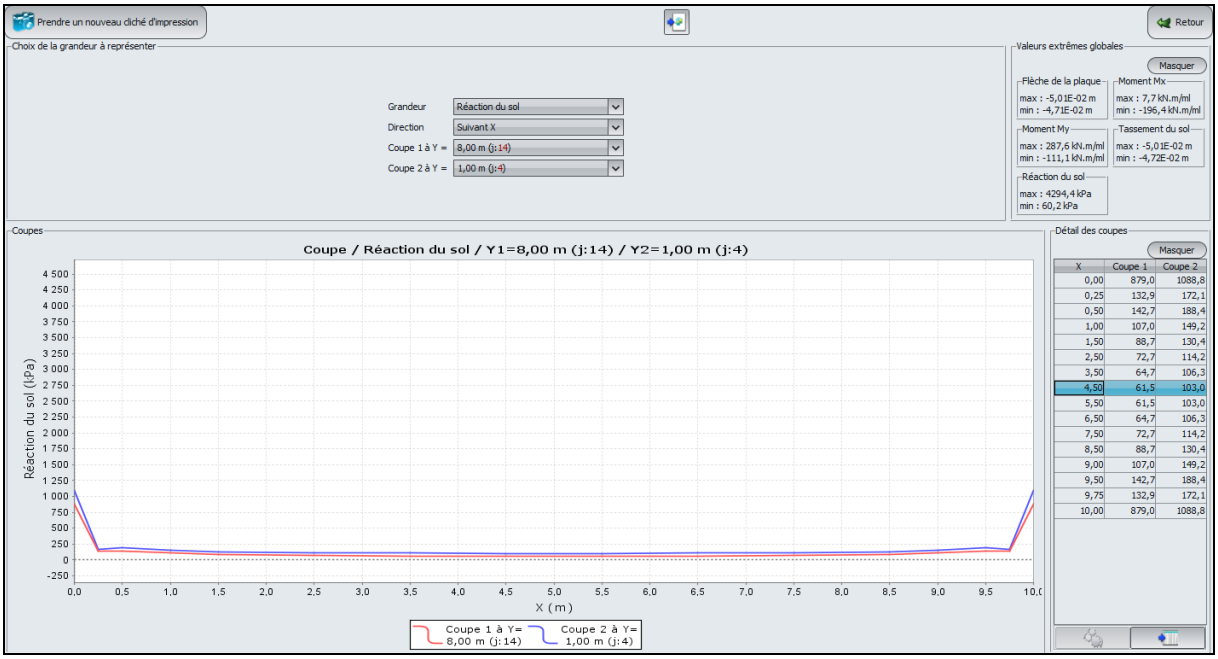
Valeurs extrêmes globales de la réaction du sol :

- Max : 4,3 MPa (effet de bord, pouvant être limité par déformations plastiques)
- Min : 0,06 MPa

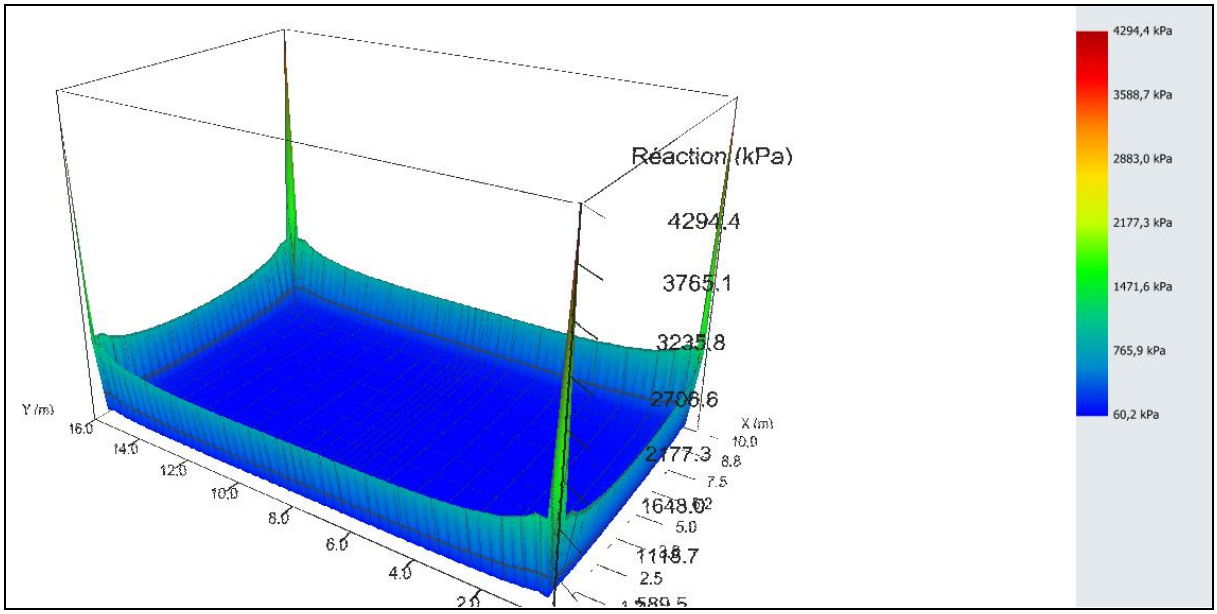
Coupe graphique suivant X avec :

Coupe 1 à Y = 8,00 m (j : 14) : à X = 4,50 m Réaction du sol = 61,5 kPa

Coupe 2 à Y = 1,00 m (j : 4) : à X = 4,50 m Réaction du sol = 103,0 kPa



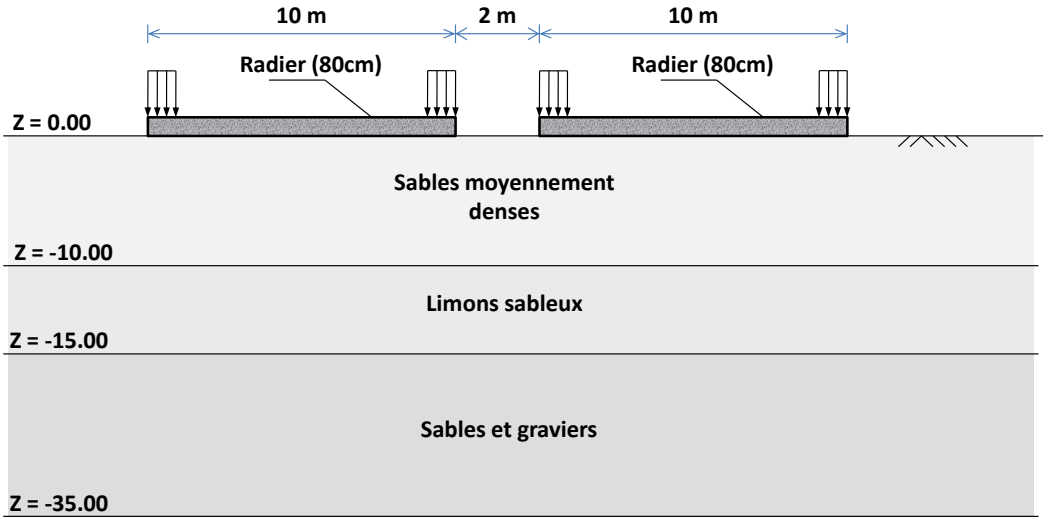
Graphique 3D



On observe cet effet de bord qui se traduit par un pic de réaction aux bords et aux coins du radier. Cet effet qui découle de la théorie de l'élasticité est d'autant plus important que le radier est rigide. Pour un sol réel, il y a limitation de cette réaction par déformations plastiques : cela peut être géré à l'aide de l'option "plastification automatique" en définissant un seuil de plastification correspondant par exemple soit à la pression de fluage, soit à la pression limite, en fonction du type de cas de charge.

I.4.2.3. Etape 2 : Deux radiers identiques voisins

Nous allons reprendre le fichier du projet Radier isolé et modifier des données afin d'étudier l'interaction avec un second radier identique distant de 2,0 m, comme le schématise la figure suivante.



Pour cela, enregistrer votre projet sous un autre nom avant de poursuivre.

I.4.2.3.1. Onglet "Paramètres"

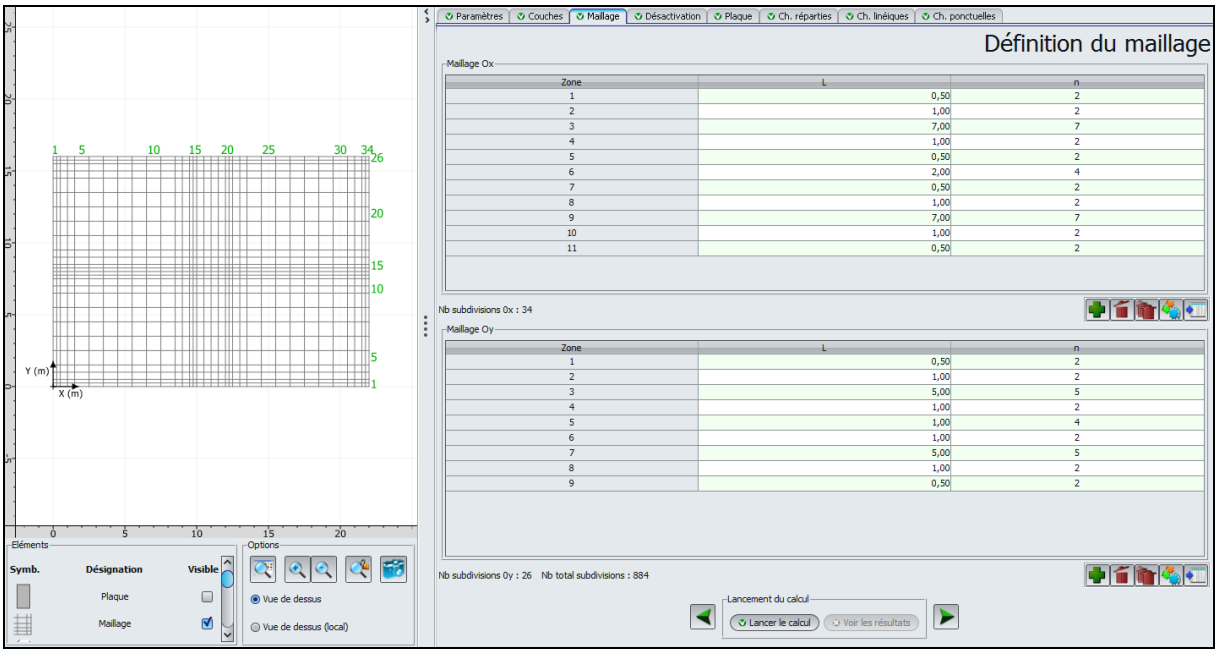
Aucune modification.

I.4.2.3.2. Onglet "Couches"

Aucune modification.

I.4.2.3.3. Onglet "Maillage"

Le maillage pour cette seconde partie est doublé symétriquement sur la partie droite avec un espacement de 2 mètres entre les dallages.



Cadre "Maillage Ox" :

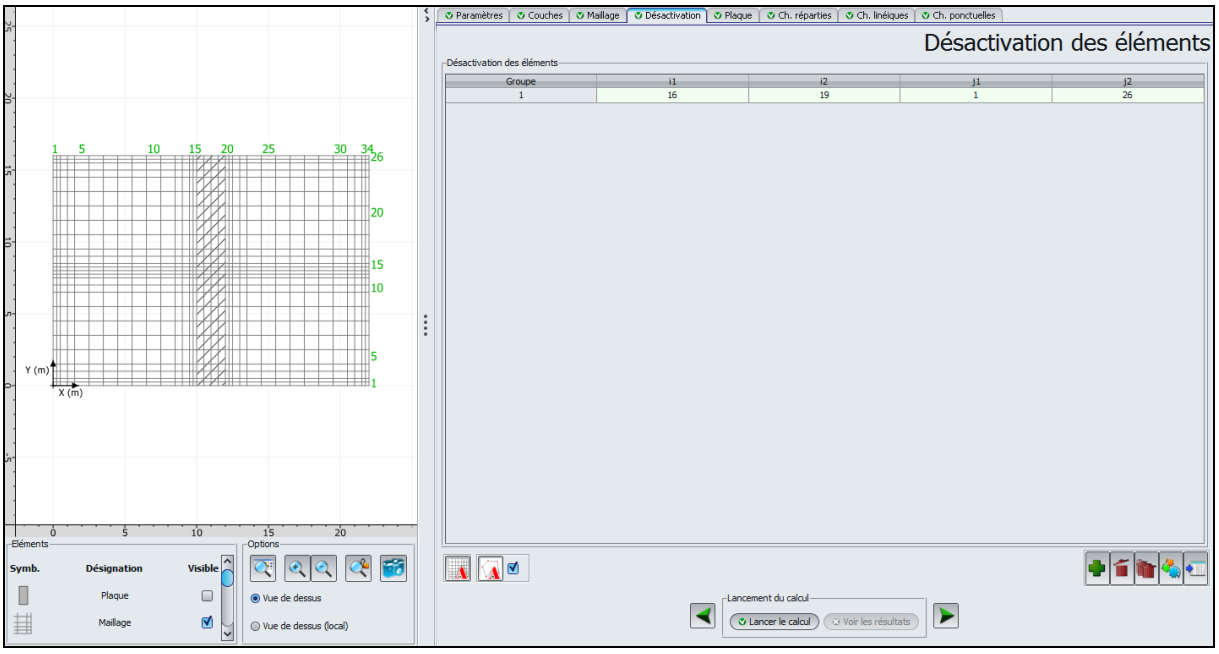
La zone 6 est la zone qui sépare les deux radiers :

Zone	L (m)	n
1	0,50	2
2	1,00	2
3	7,00	7
4	1,00	2
5	0,50	2
6	**2,00**	**4**
7	0,50	2
8	1,00	2
9	7,00	7
10	1,00	2
11	0,50	2

Cadre "Maillage Oy" : Aucune modification

I.4.2.3.4. Onglet "Désactivation"

Il convient de désactiver des éléments afin d'obtenir deux radiers désolidarisés : le schéma montre qu'une bande centrale de 2 m de largeur est désactivée.



Nota : Il est possible d'utiliser l'assistant maillage ici en cliquant sur le bouton .

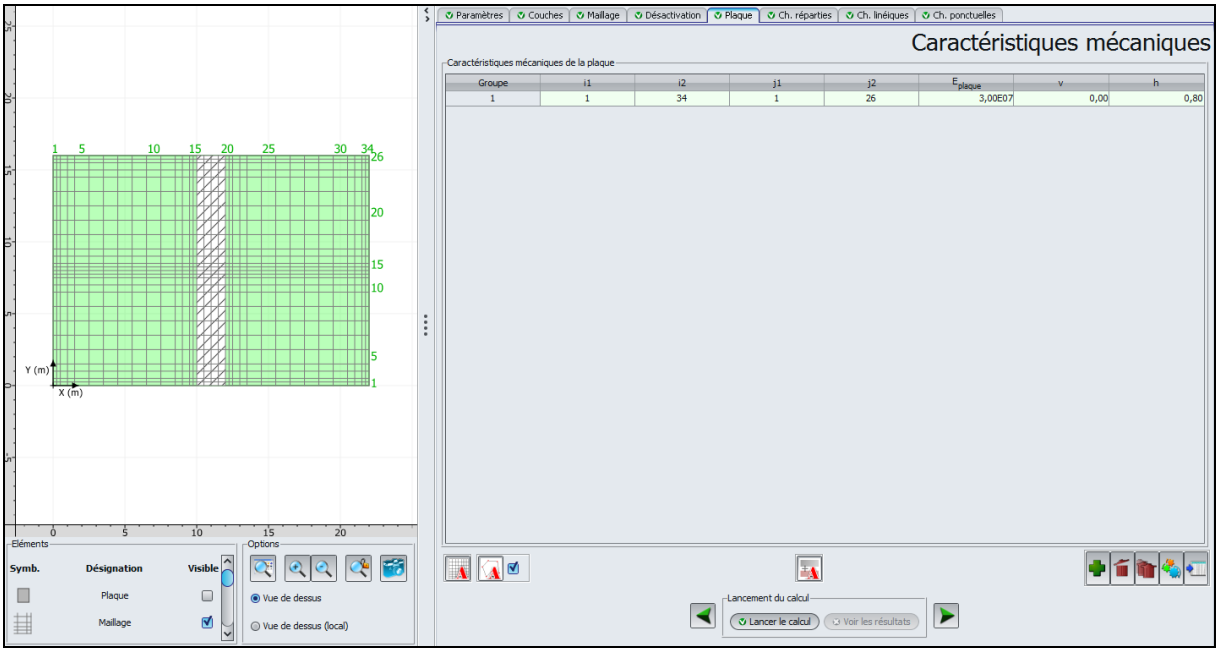
Cadre "Désactivation des éléments" :

Il convient de saisir le groupe d'éléments à désactiver.

Groupe	i1	i2	j1	j2
1	16	19	1	26

I.4.2.3.5. Onglet "Plaque"

Sachant que les caractéristiques ne s'appliqueront qu'aux zones activées, et que les deux radiers sont de mêmes caractéristiques, il suffit de définir une zone couvrant l'ensemble du modèle à laquelle on affecte un module d'Young de 30 000 MPa, un coefficient de Poisson nul et une épaisseur de 80 cm. La zone désactivée (séparant les deux radiers) reste incolore sur le schéma.



Nous n'utiliserons pas l'assistant maillage ici mais il reste accessible en cliquant sur le bouton .

Il suffit ici de modifier i2 pour étendre la zone définie à l'étape 1 :

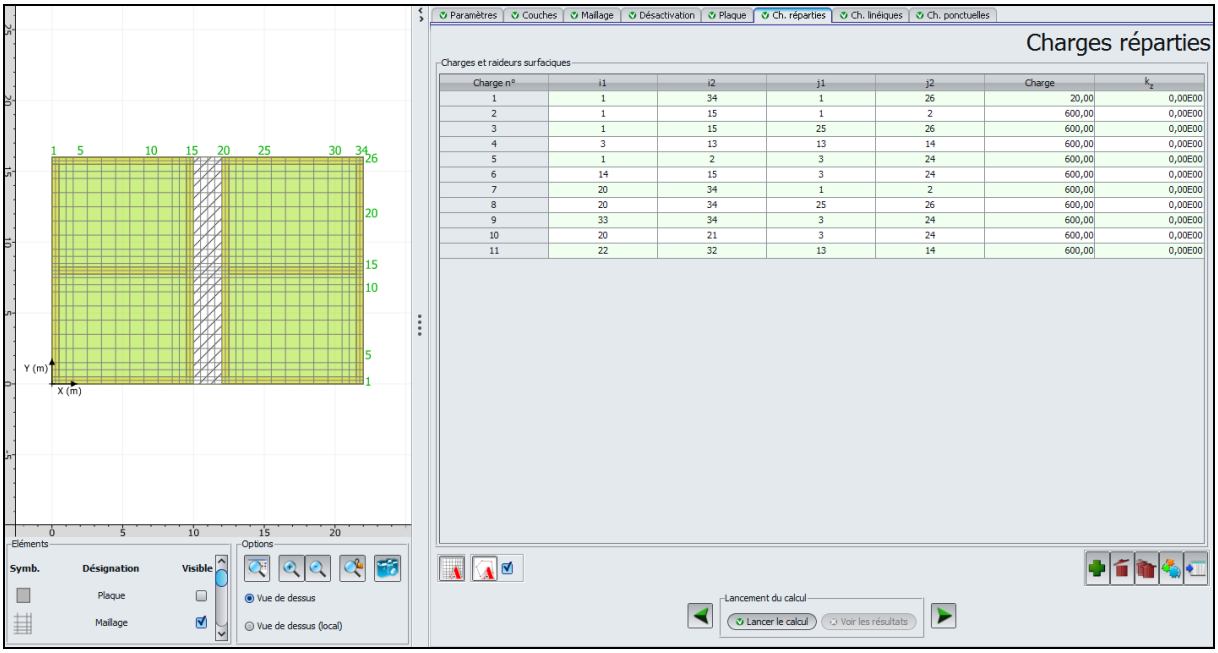
Groupe	i1	i2	j1	j2	E_{plaque} (kPa)	ν	h (m)
1	1	34	1	26	3,00E+07	0,00	0,80

I.4.2.3.6. Onglet "Charges réparties"

La zone de chargement correspondant au poids peut être étendue sur l'ensemble du modèle, sachant que là aussi, les charges ne s'appliquent que sur les zones activées.

Il convient en plus de rajouter 5 zones de chargement correspondant aux charges amenées par les voiles du 2nd radier.

Nota : Il est possible d'utiliser l'assistant maillage ici en cliquant sur le bouton .



La nouvelle liste de charges complète est la suivante :

Charge n°	i1	i2	j1	j2	Charge (kPa)	k_z (kPa/m)
1	1	**34**	1	26	20	0,00
2	1	15	1	2	600	0,00
3	1	15	25	26	600	0,00
4	3	13	13	14	600	0,00
5	1	2	3	24	600	0,00
6	14	15	3	24	600	0,00
7	**20**	**34**	**1**	**2**	**600**	**0,00**
8	**20**	**34**	**25**	**26**	**600**	**0,00**
9	**33**	**34**	**3**	**24**	**600**	**0,00**
10	**20**	**21**	**3**	**24**	**600**	**0,00**
11	**22**	**32**	**13**	**14**	**600**	**0,00**

I.4.2.3.7. Onglet "Charges linéiques"

Aucune modification.

I.4.2.3.8. Onglet "Charges ponctuelles"

Aucune modification.

I.4.2.4. Calcul et Résultats

Lancer le calcul en cliquant sur le bouton Lancer le calcul. Quand le calcul est fini, fermer la fenêtre de Calcul en cours puis cliquez sur le bouton Voir les résultats.

Tassement du sol

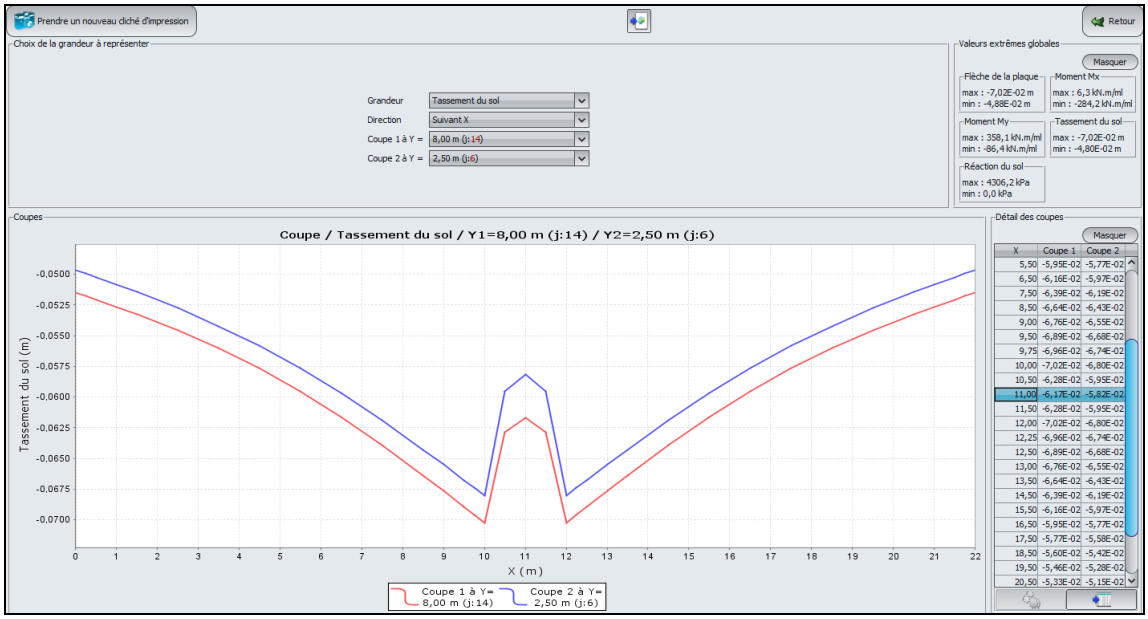
Valeurs extrêmes globales :

- Max : -7,02E-02 m (soit -7,0 cm, donc 2 cm de plus que pour le cas d'un radier isolé)
- Min : -4,80E-02 m (soit -4,8 cm)

Coupe suivant X :

Coupe 1 à Y = 8,00 m (j : 14) : à X = 11 m Tassement du sol = -6,17 cm

Coupe 2 à Y = 2,50 m (j : 6) : à X = 11 m Tassement du sol = -5,82 cm



Flèche de la plaque

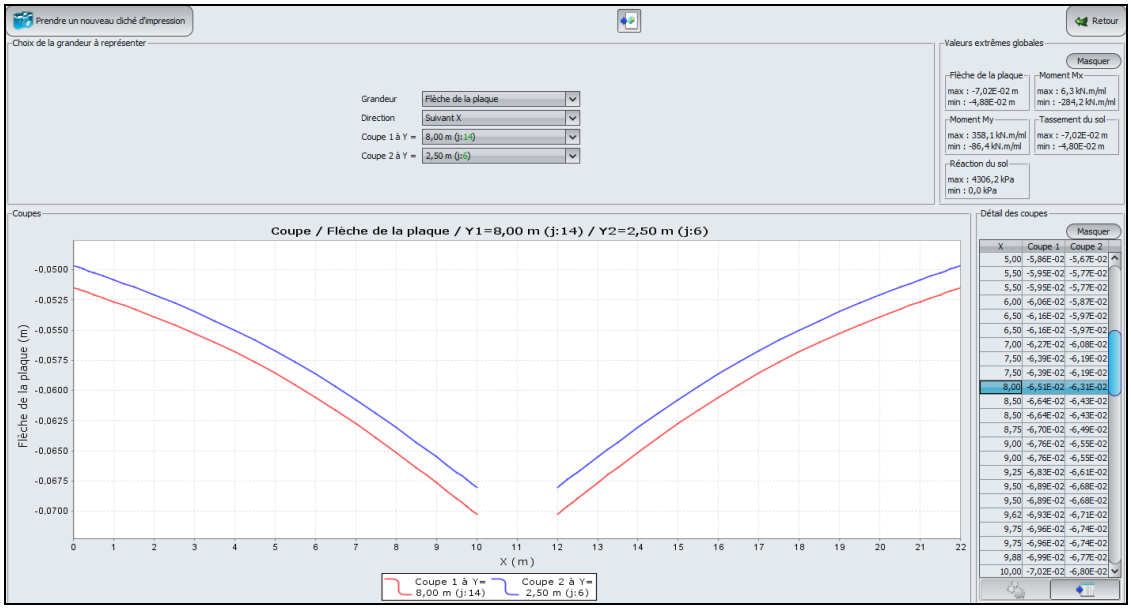
Valeurs extrêmes globales :

- Max : -7,02E-02 m (soit -7,0 cm, valeur identique au tassement du sol = absence de décollement)
- Min : -4,88E-02 m (soit -4,9 cm)

Coupe suivant X :

Coupe 1 à Y = 8,00 m (j : 14) : à X = 8 m Flèche = -6,51 cm

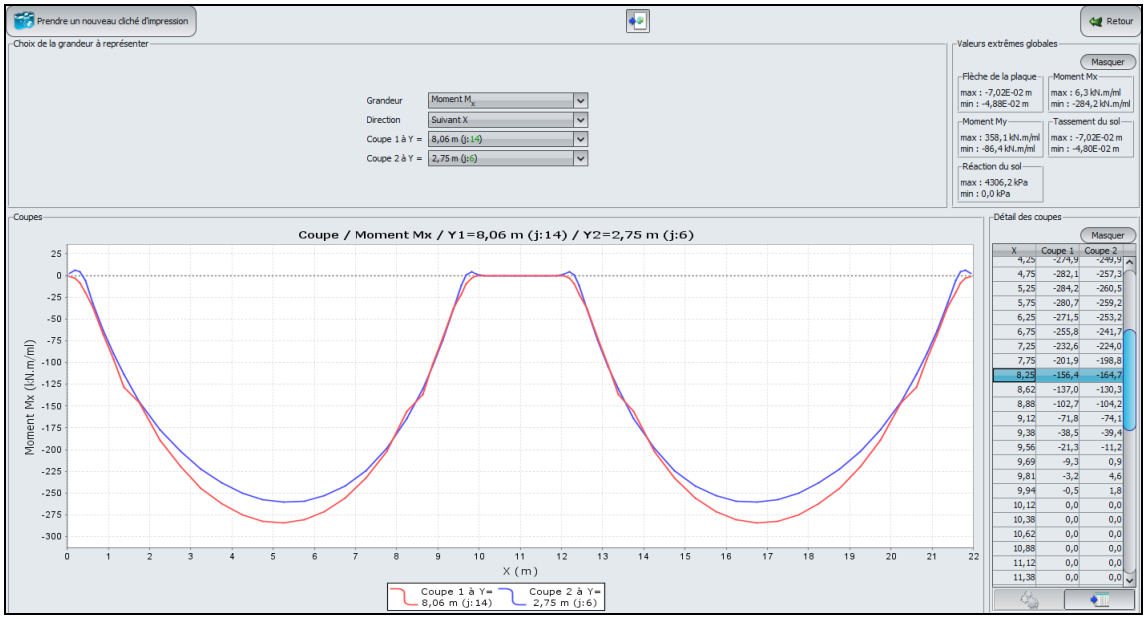
Coupe 2 à Y = 2,50 m (j : 6) : à X = 8 m Flèche = -6,31 cm



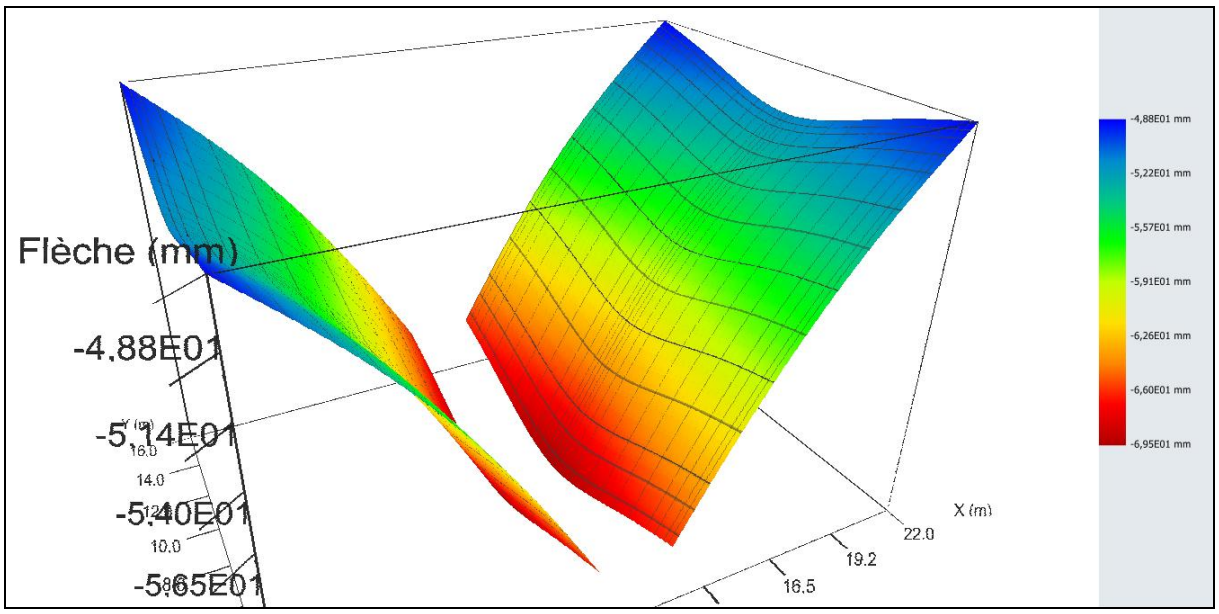
Moment M_x :
Valeurs extrêmes globales :

- Max : 6 kN.m/ml
- Min : -284 kN.m/ml

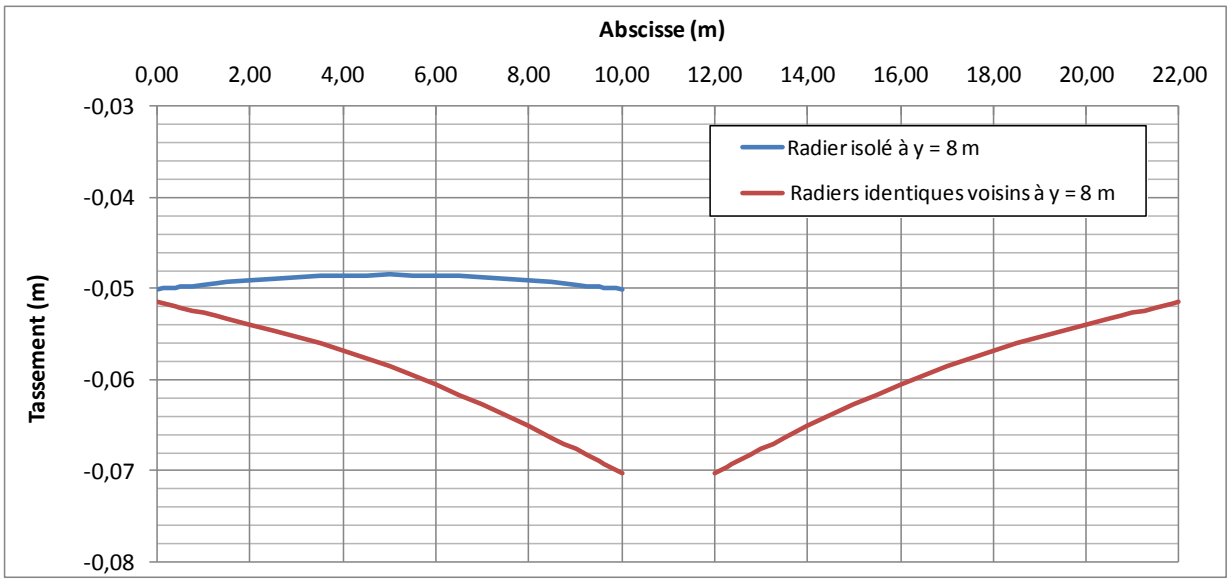
Coupe graphique suivant X :
Coupe 1 à Y = 8,06 m (j : 14) : à X = 8,25 m M_x = -156 kN.m/ml.
Coupe 2 à Y = 2,75 m (j : 6) : à X = 8,25 m M_x = -165 kN.m/ml.



Graphique 3D (flèche de la plaque)



La figure suivante compare les tassements obtenus dans les deux situations étudiées (avec et sans interaction), et illustre une amplification notable des tassements sous l'effet de l'interaction entre les deux radiers. La simulation de ce phénomène n'aurait pas été possible si le sol avait été assimilé à une distribution de ressorts juxtaposés.

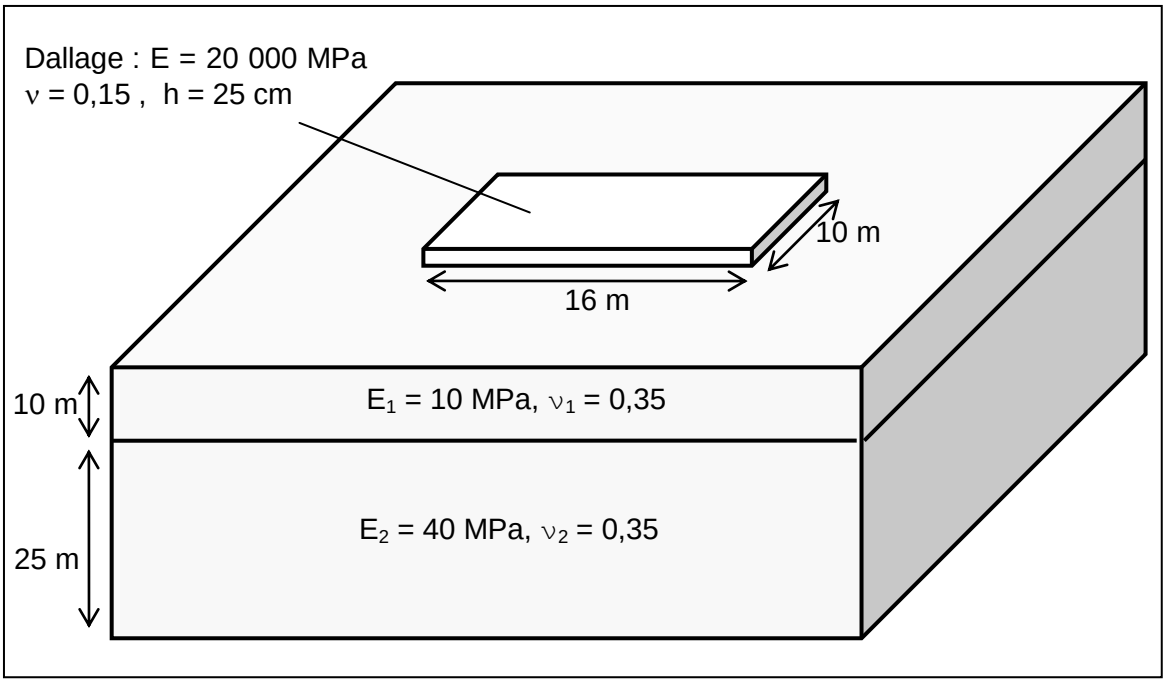


I.4.3. Exemple 3 : Dallage avec différents systèmes de joints

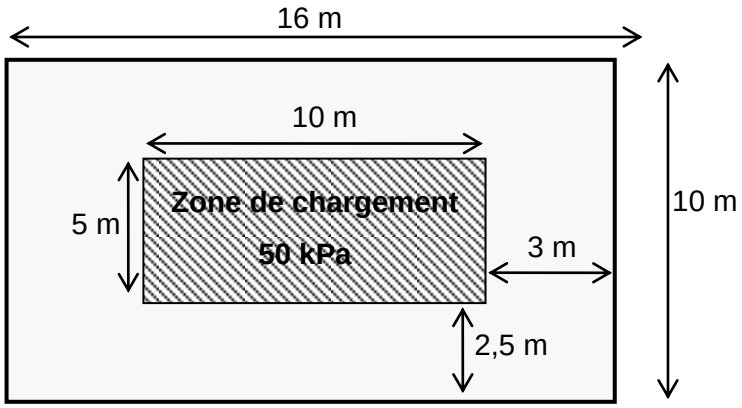
Un dallage rectangulaire de dimensions 16 m x 10 m est soumis en plus de son poids propre à une charge de 50 kPa répartie sur une surface de 10 m x 5 m en son centre.

Nous allons traiter dans cet exemple successivement 3 situations différentes, puis les comparer :

- Etape 1 : dallage supposé continu ;
- Etape 2 : dallage avec des joints partiels ;
- Etape 3 : dallage avec des joints francs.

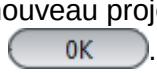


Le schéma suivant illustre la localisation de la charge centrale (50 kPa) appliquée sur le dallage :



I.4.3.1. Etape 1 : Dallage continu sur sol multicouche élastique

- Choisir de créer un nouveau projet en sélectionnant le radio-bouton

;
- Cliquer sur le bouton 

.

Si Foxta est déjà ouvert, cliquer sur le menu "Fichier", "Nouveau projet".

I.4.3.1.1. Assistant Nouveau projet

Cadre "Fichier" :

- Renseigner le chemin du fichier en cliquant sur le bouton ... ;
- Donner un nom au fichier et l'enregistrer.

Cadre "Projet" :

- Donner un titre au projet ;
- Saisir un numéro d'affaire ;
- Compléter avec un commentaire si besoin ;
- Laisser la case "Utiliser la base de données" décochée (nous n'utiliserons pas la base de données pour cet exemple), et cliquer sur le bouton Suivant.

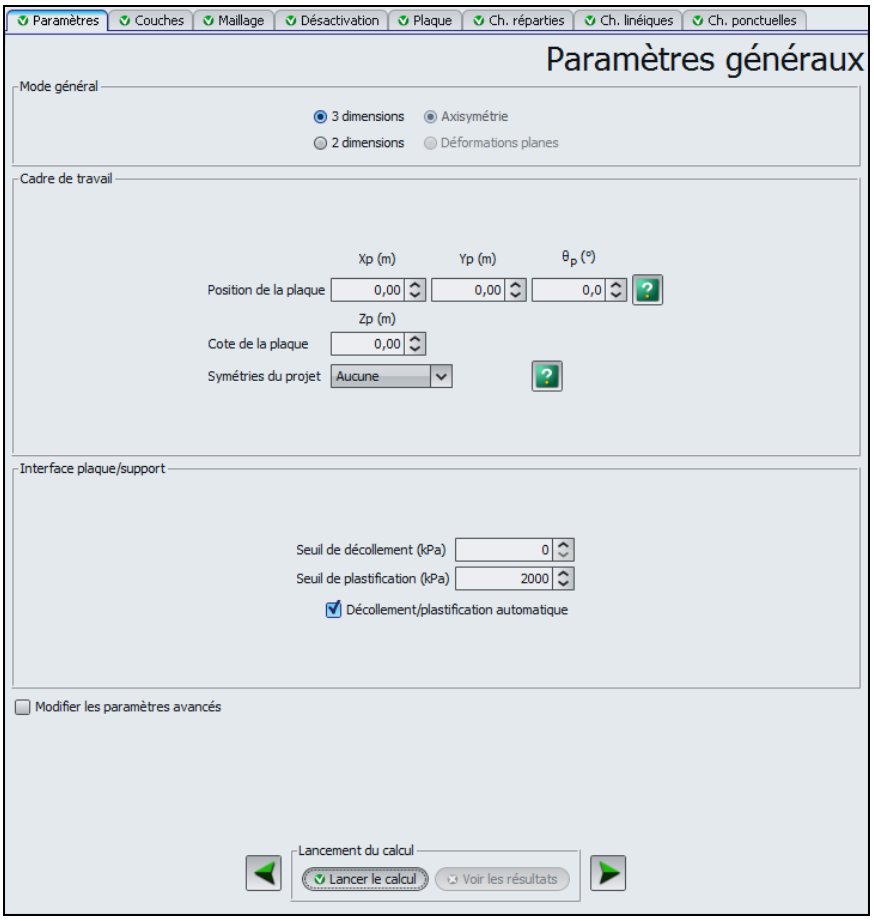
I.4.3.1.2. Assistant Nouveau projet : Choix du module

Dans la fenêtre "Choix des modules", sélectionner le module TASPLAQ puis cliquer sur le bouton Créer :

La fenêtre de saisie des données TASPLAQ apparaît.

Il convient à présent de compléter les différents onglets de données, dans la zone droite de l'écran.

I.4.3.1.3. Onglet "Paramètres"



Cadre "Mode général" :
Le mode étudié étant tridimensionnel, cliquer sur le bouton "3 dimensions".

Cadre "Cadre de travail" :
Dans cet exemple, le repère local de la plaque représentative du radier est pris identique au repère global du modèle. Le point (0,0) représente le coin "bas – gauche" du modèle.

X_p (m)	Y_p (m)	θ_p (°)
0,00	0,00	0,00

- Cote de la plaque : Z_p = 0,0 m (cote de référence = cote de la sous-face de la plaque),
- Symétrie de projet : Aucune

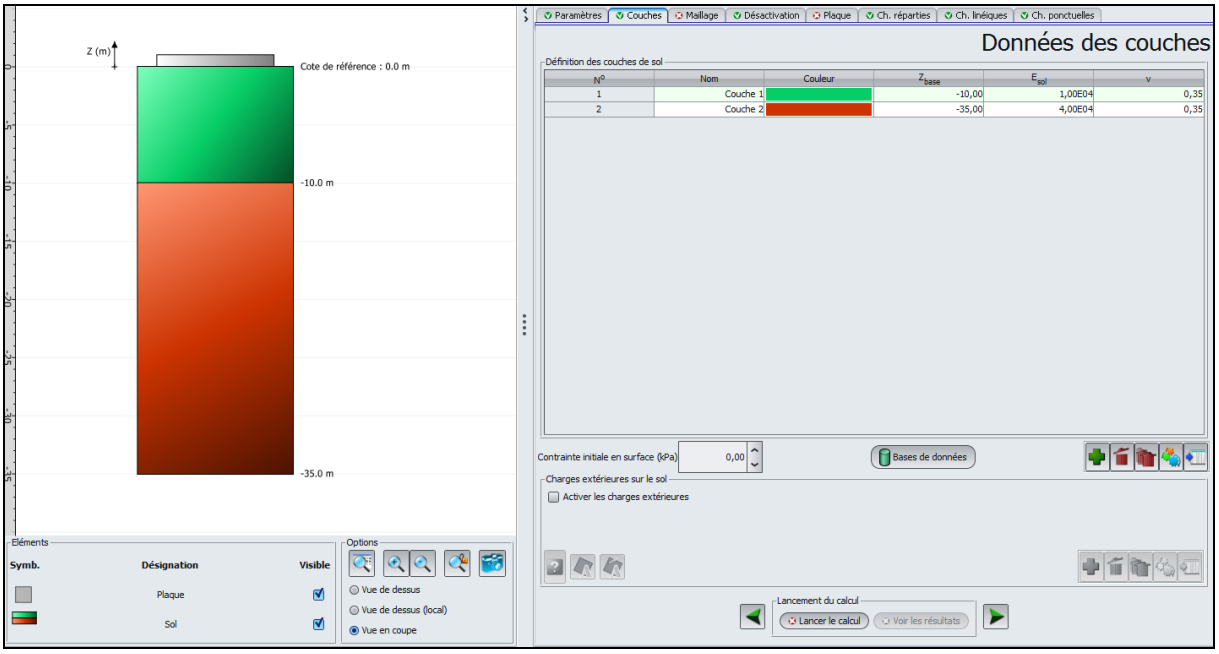
Cadre "Interface plaque/support" :
Ce cadre permet d'activer la gestion automatique des critères de décollement et de plastification à l'aide de critères définis par l'utilisateur.

Seuil de décollement	0 kPa (aucune contrainte de traction autorisée)
Seuil de plastification	2000 kPa

- Décollement/plastification automatique : Cochée
- Modifier les paramètres avancés : Décochée

Pour passer à l'onglet suivant, cliquer soit sur le nom de l'onglet "Couches", soit sur le bouton .

I.4.3.1.4. Onglet "Couches"



Nous avons 2 couches de sol à définir pour cet exemple. Les valeurs à saisir sont les suivantes :

Nom	**Z_{base}** (m)	**E_{sol}** (kPa)	**ν**
Couche1	-10	1,00E04	0,35
Couche 2	-35	4,00E04	0,35

Contrainte initiale en surface : 0 kPa.

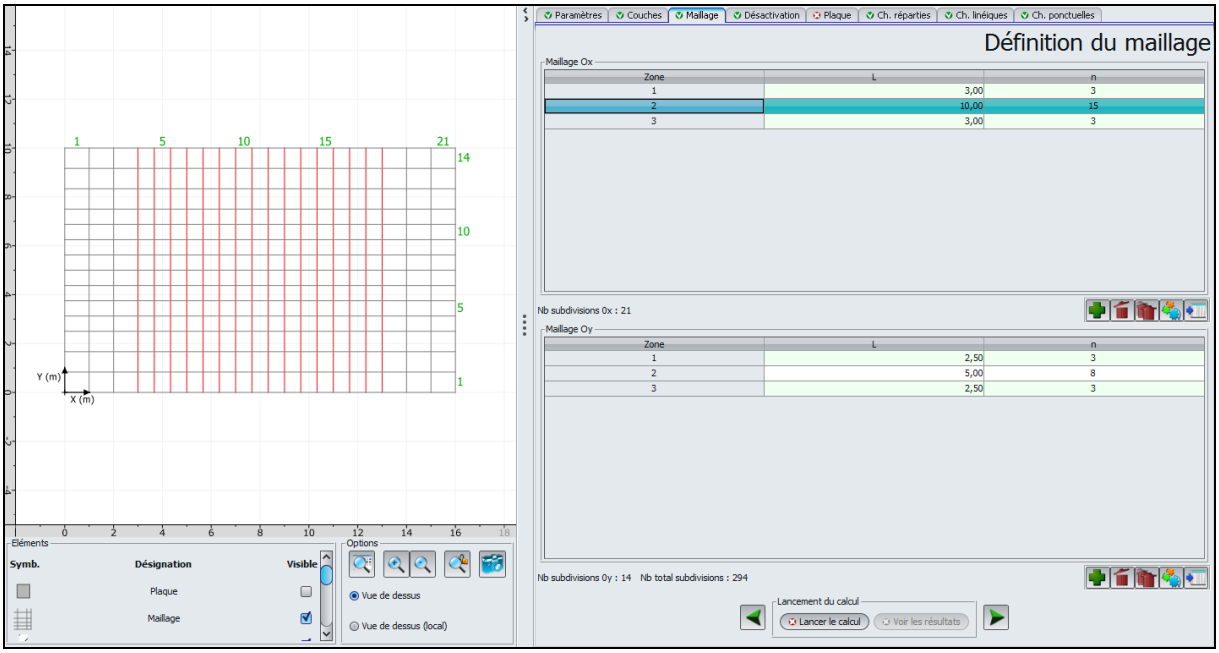
Cadre "Charges extérieures sur le sol" :

- Aucune charge extérieure n'est à définir, laisser décochée la case "Activer les charges extérieures"

I.4.3.1.5. Onglet "Maillage"

Saisir le maillage en indiquant la longueur (m) et le nombre de subdivisions de chaque zone (3 zones à définir selon Ox et 3 zones selon Oy pour cet exemple).

Il faut tenir compte pour la définition du maillage de la position de la zone de chargement (au centre de la plaque), au droit de laquelle on propose de raffiner légèrement le maillage.



Cadre "Maillage Ox" :

Zone	L (m)	n
1	3,0	3
2	10,0	15
3	3,0	3

Cadre "Maillage Oy" :

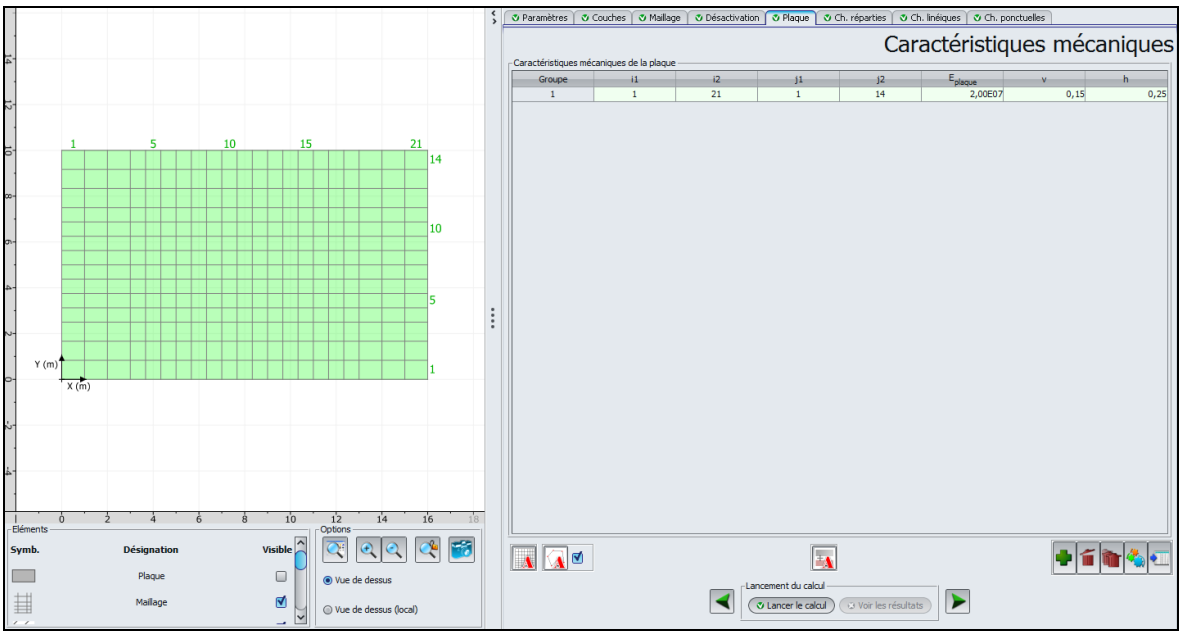
Zone	L (m)	n
1	2,5	3
2	5,0	8
3	2,5	3

I.4.3.1.6. Onglet "Désactivation"

Dans cette étape, il n'y a pas d'élément à désactiver, la plaque représentative de la plaque est pleine et continue. Le cadre "Désactivation des éléments" est laissé vide.

I.4.3.1.7. Onglet "Plaque"

Dans cette étape, la plaque est homogène. Il suffit donc de définir une seule zone couvrant toute la plaque soit i1 = 1 à i2 = 21 selon Ox et j1 = 1 à j2 = 14 selon Oy (valeurs proposées par défaut lors de la création de la 1ère ligne dans le tableau de définition de la plaque).



Cadre "Caractéristiques mécaniques de la plaque" :

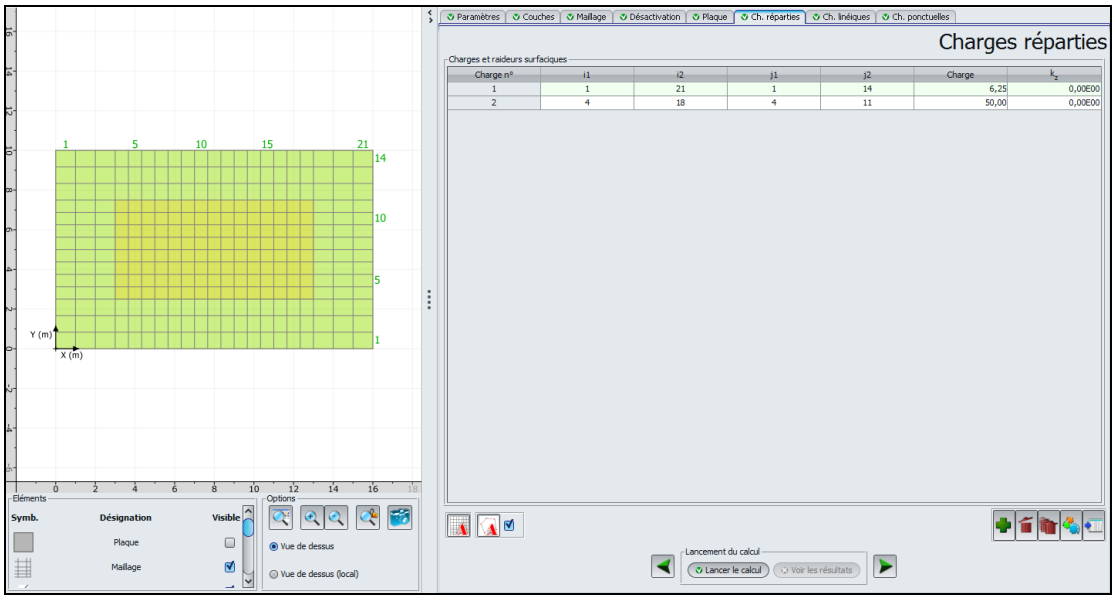
Groupe	i1	i2	j1	j2	E_{plaque} (kPa)	ν	h (m)
1	1	21	1	14	2,00E+07	0,15	0,25

I.4.3.1.8. Onglet "Charges Réparties"

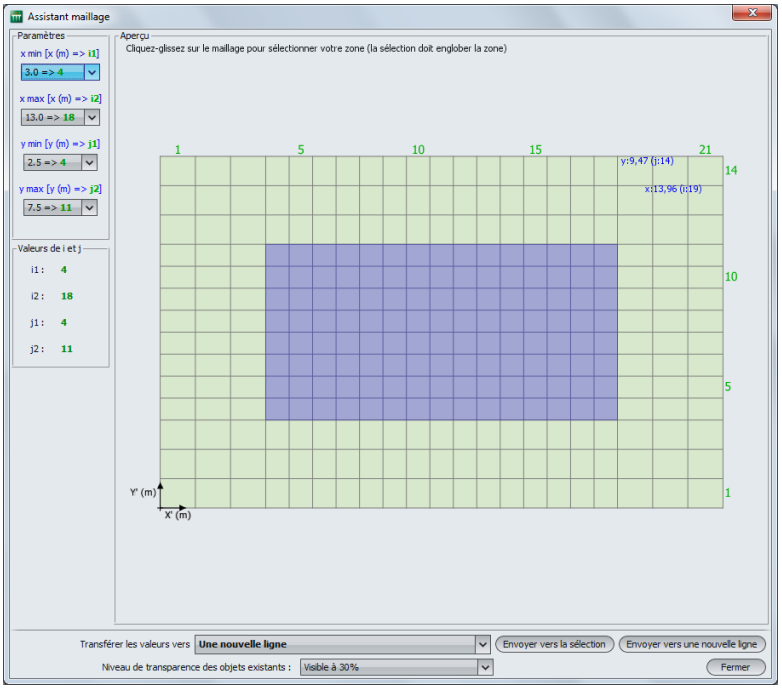
Il convient de définir pour cet exemple 2 zones de chargement. En effet, on tient compte :

- D'une part du poids propre du dallage. Celui-ci correspond à une charge répartie de 6,25 kPa à appliquer sur toute la plaque (groupe d'éléments i1 = 1 à i2 = 21 selon Ox et j1 = 1 à j2 = 14 selon Oy).
- D'autre part de la charge de 50 kPa appliquée dans la zone centrale de la plaque (groupe d'éléments i1= 4 à i2 = 18 selon Ox et j1 = 4 à j2 = 11 selon Oy).

La case "Raideur surfacique k_z" correspond au cas où une raideur continue élastique existe sous la plaque, ce qui permet de définir un appui continu élastique de raideur variable par zone. Dans le présent exemple, aucune raideur continue n'est à définir.



Pour la création de la 2ème zone de chargement, on peut utiliser l'assistant maillage, en cliquant sur le bouton . Voir les exemples 1 ou 2 ou le manuel d'utilisation pour une présentation détaillée de cet assistant (on peut aussi utiliser l'assistant pour le chargement du poids propre, mais cela n'a pas d'intérêt car Tasplaq définit par défaut le 1er chargement comme s'appliquant à la plaque entière).



N°	i1	i2	j1	j2	**Charge** (kPa)	k_z (kPa/m)
1	1	21	1	14	6,25	0
2	4	18	4	11	50,00	0

I.4.3.1.9. Onglet "Charges linéiques"

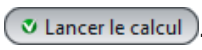
Il n'y a pas de charges linéiques dans cet exemple.

I.4.3.1.10. Onglet "Charges ponctuelles"

Il n'y a pas de charges ponctuelles dans cet exemple.

I.4.3.2. Calcul et résultats

I.4.3.2.1. Calcul

Cliquer sur le bouton 

.

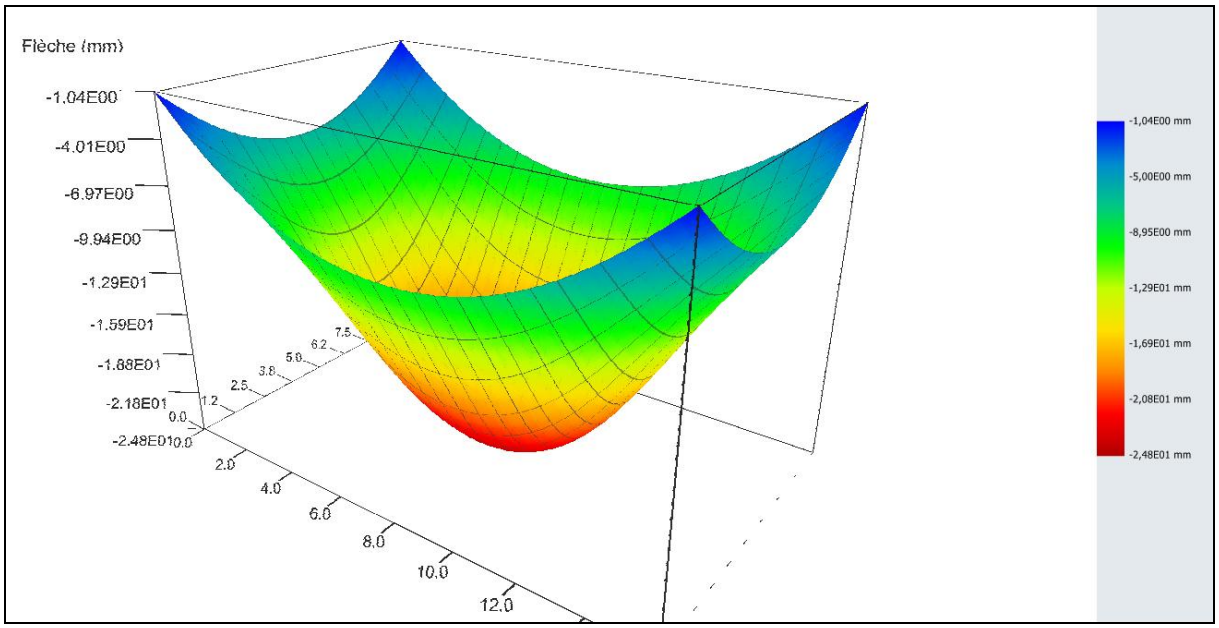
Pour accéder aux résultats sous forme de tableaux et de graphiques, cliquer sur le bouton

.

I.4.3.2.2. Résultats

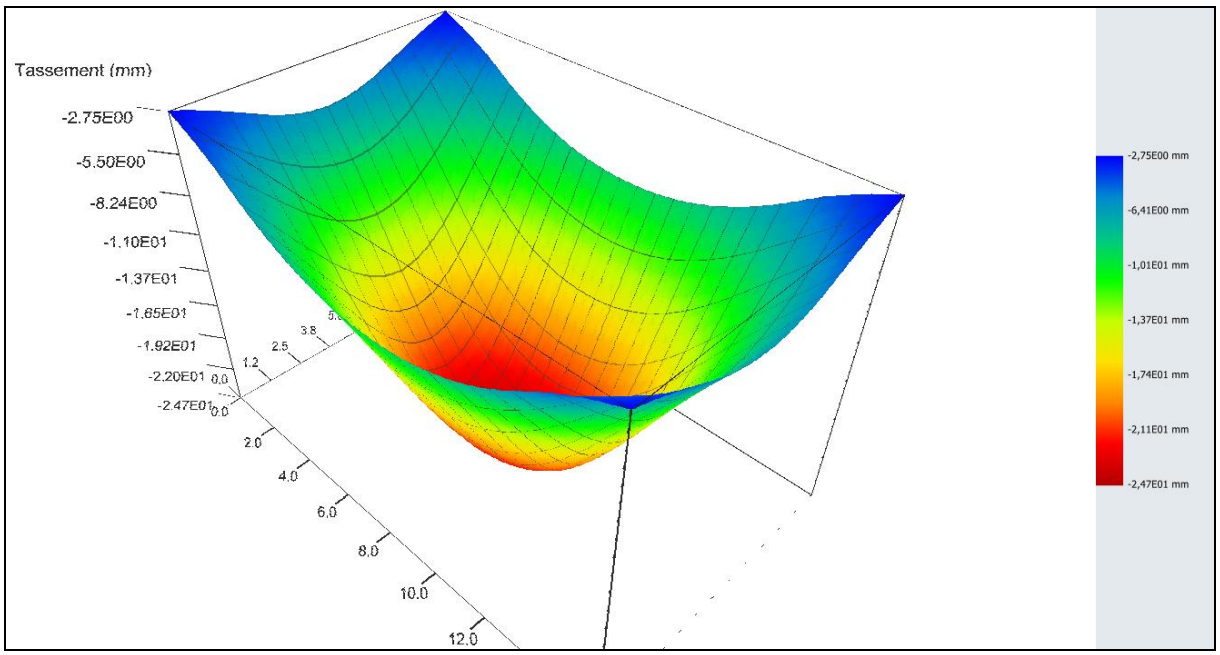
Graphiques 3D

Flèche de la plaque :



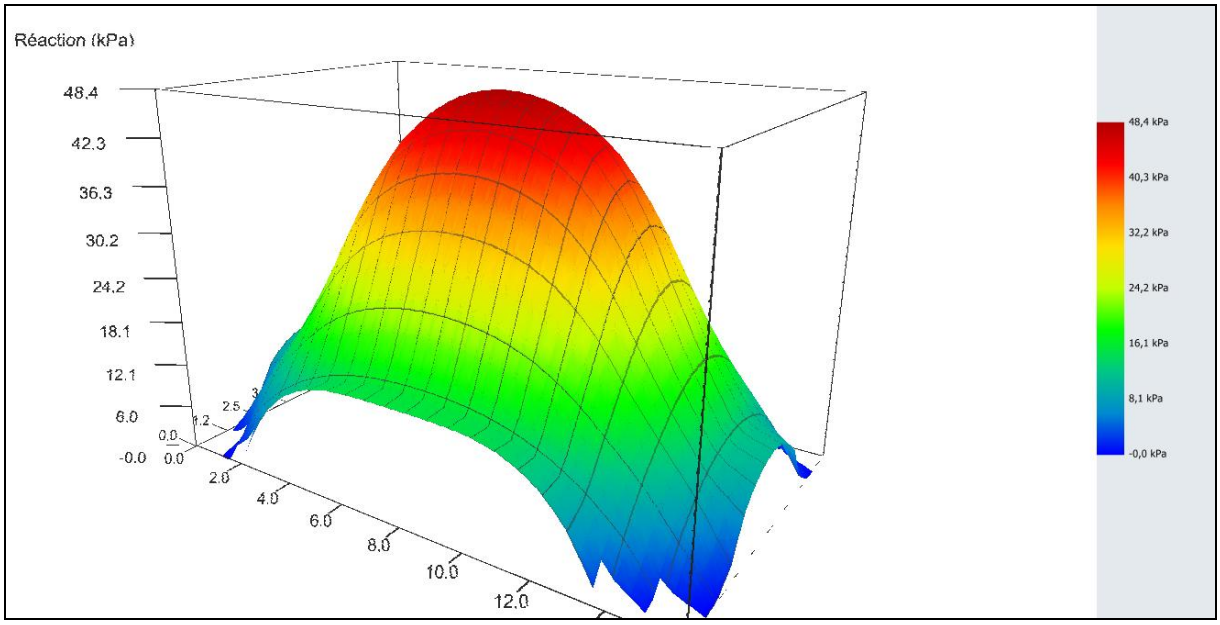
La flèche maximale, de l'ordre de 2,5 cm, est obtenue au centre du dallage.

Tassement du sol :



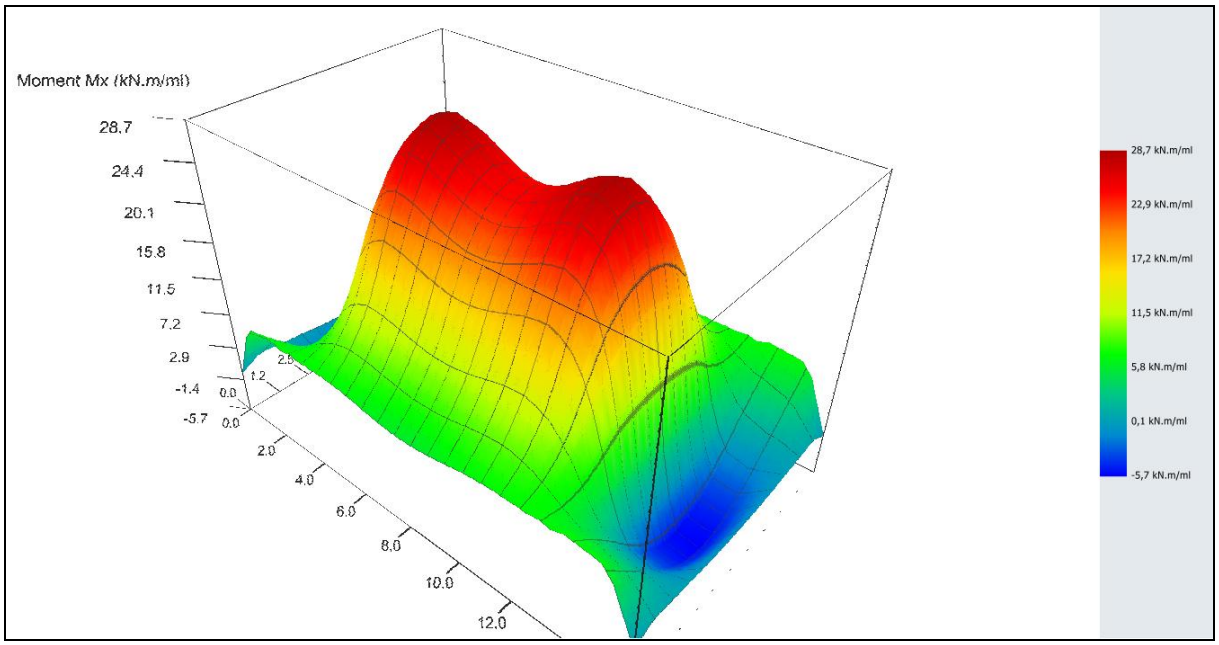
Le tassement maximal du sol, égal à la flèche maximale est également obtenu au centre du dallage.

Réaction du sol :

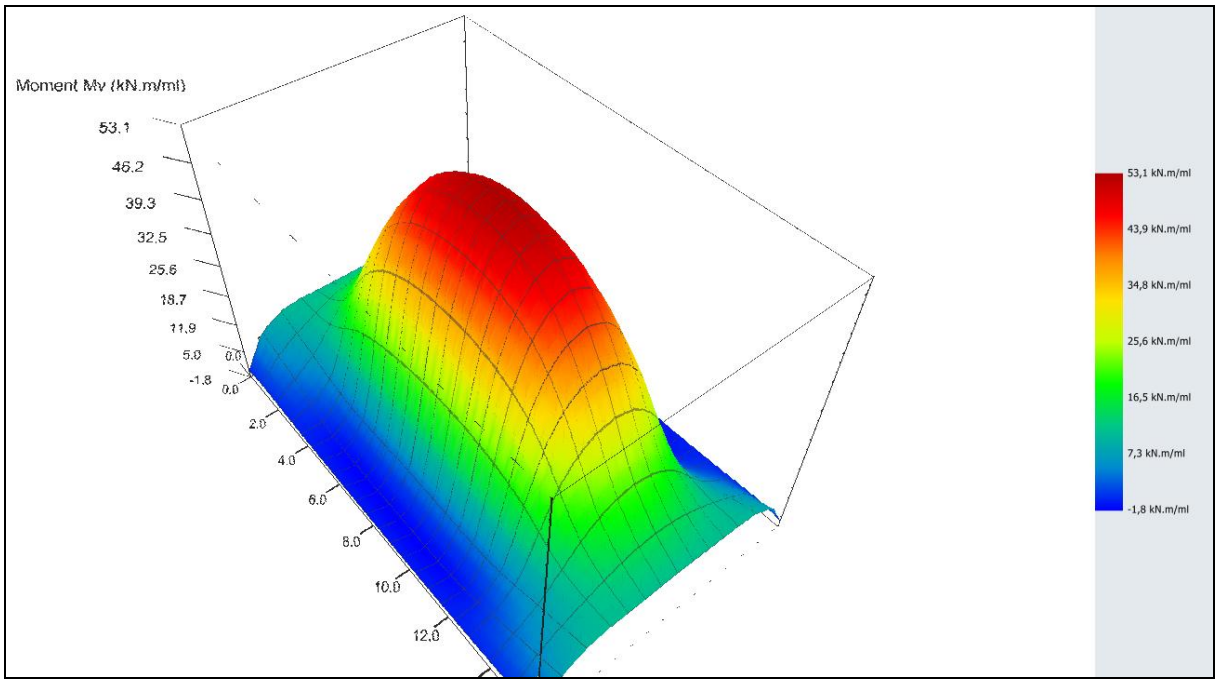


On voit apparaître des zones de "réaction nulle" au niveau des coins sortant du dallage. Ceci traduit le fait que le calcul ainsi mené a été sujet de décollement, ce qui explique la légère différence qu'on pourra observer entre l'allure des tassements et celle de la flèche de la plaque.

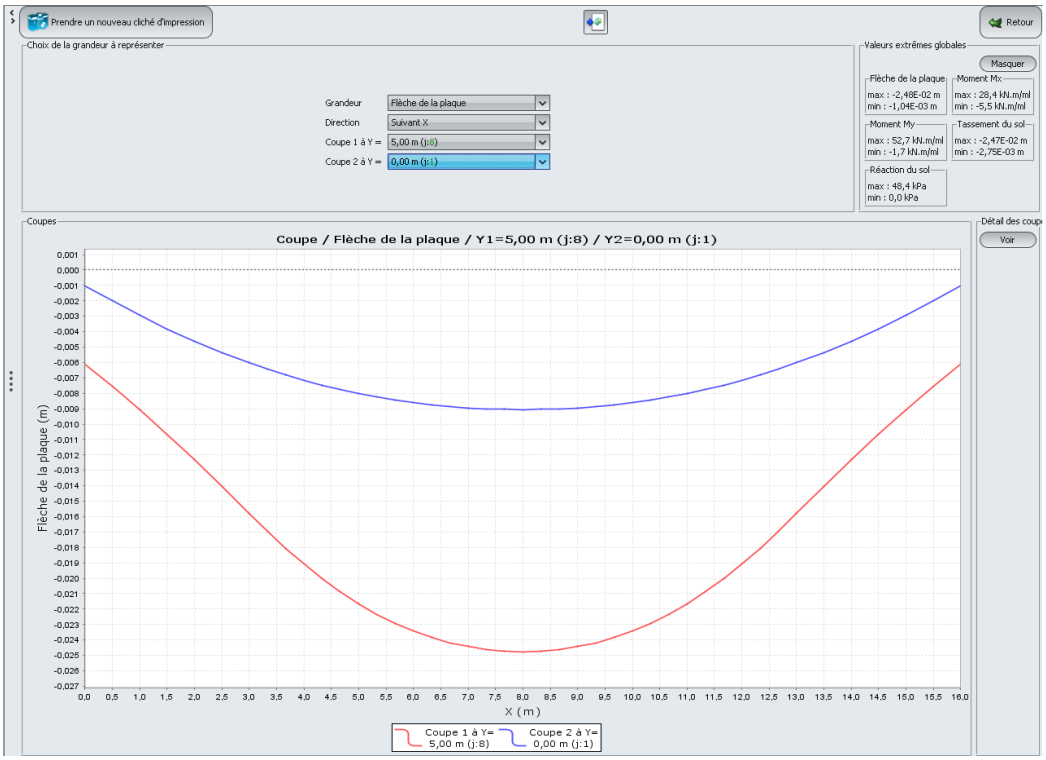
Moment M_x :



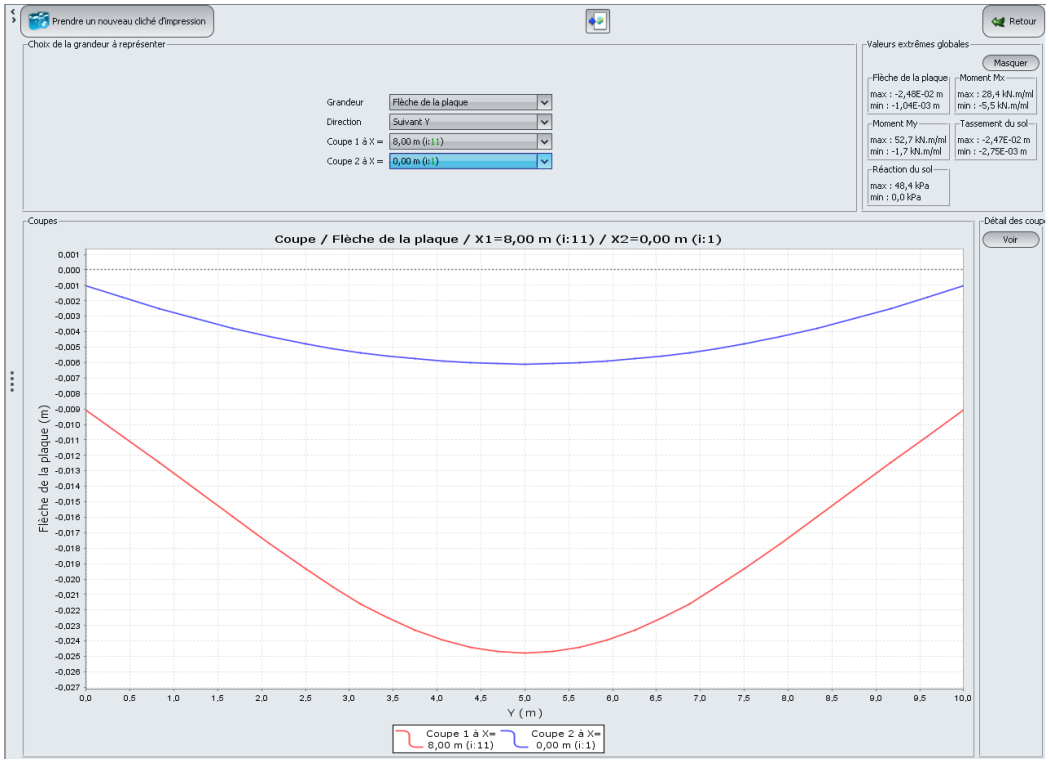
Moment M_y :



Coupes :



*Edition juillet 2013 - **Copyright © Foxta v3 - 2011***



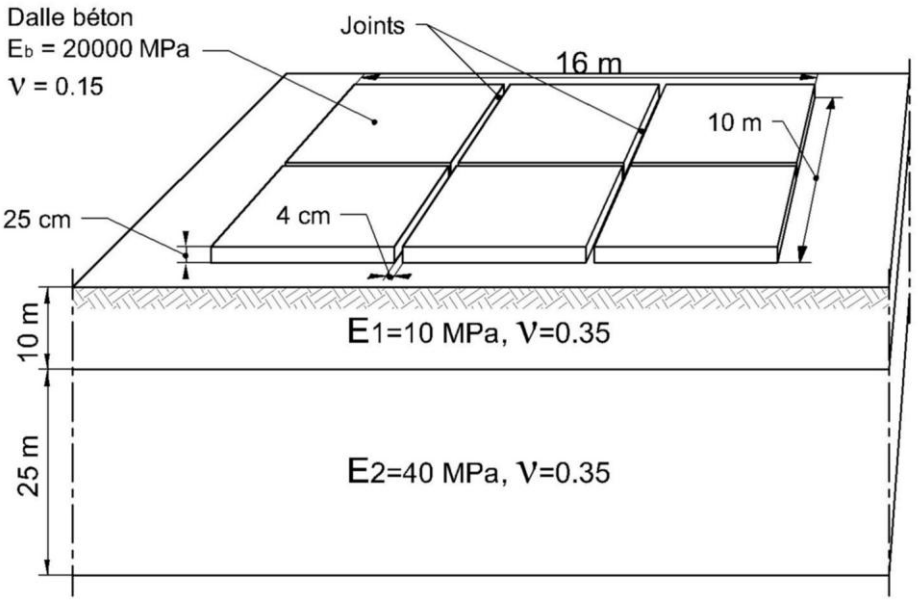
Les 2 coupes ci-dessus donnent l'amplitude des tassements du sol selon les axes X et Y respectivement, au centre et au bord de la plaque dans chaque cas.

Et on retient l'amplitude des moments fléchissants **:**

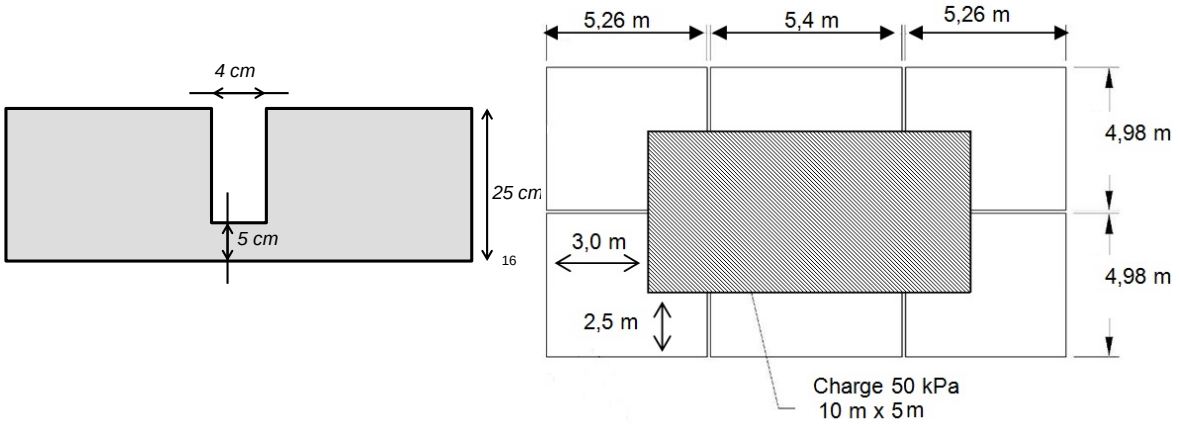
- $M_{x,max}$ = 28 kN.m/ml
- $M_{y,max}$ = 53 kN.m/ml

I.4.3.3. Etape 2 : Dallage avec joints partiels sur sol multicouche élastique

On reprend le cas de l'étape 1 précédent. On considère cette fois la présence de joints partiels dans le dallage comme le montre la figure ci-dessous :



On suppose que ces joints partiels ont été obtenus en sciant le corps du dallage sur 4/5^{e} de son épaisseur. Au droit de ces joints, le dallage a donc une épaisseur de 5 cm.
Les joints sont supposés de 4 cm de largeur, leur espacement est illustré sur la figure ci-dessous.



Pour modifier des données, cliquer sur le bouton

.

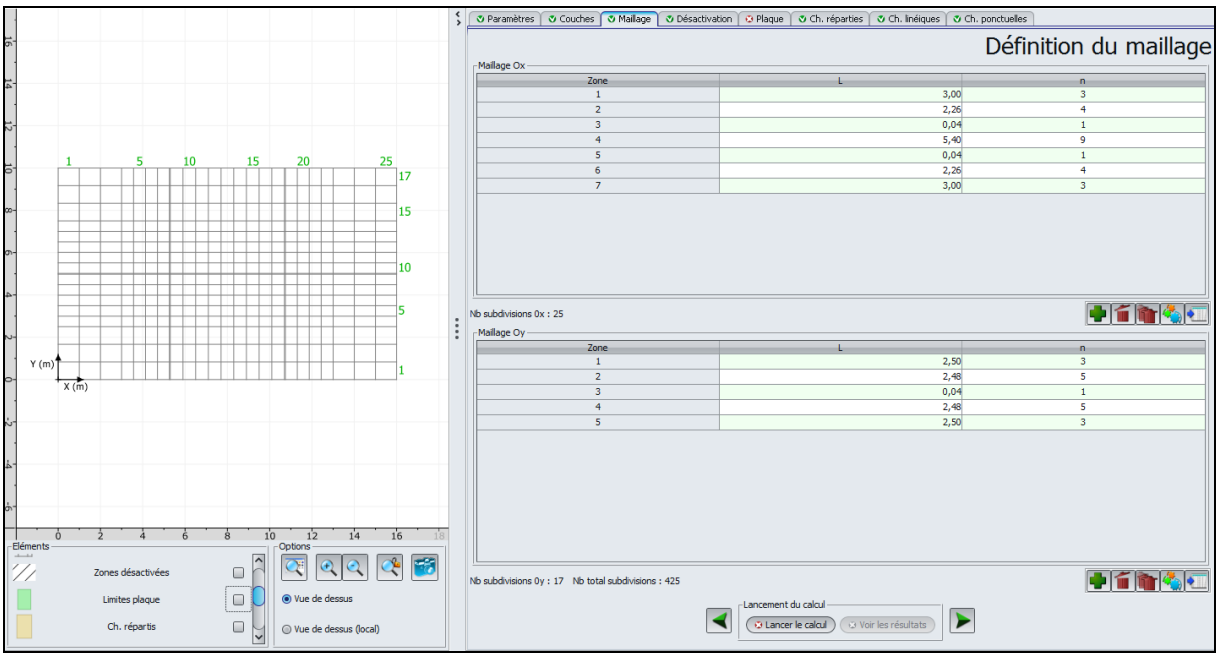
Puis enregistrer le fichier sous un autre nom avant de démarrer cette nouvelle étape de l'exemple.

On détaille ici les données modifiées par rapport à l'étape 1 pour tenir compte de l'introduction des joints.

I.4.3.3.1. Onglet "Maillage"

Il convient de modifier le maillage précédent pour tenir compte de la position des joints (2 joints parallèles à l'axe Oy et un joint parallèle à l'axe Ox) : il faut donc définir cette fois 7 zones selon Ox et 5 zones selon Oy, comme indiqué ci-dessous.

Nous voyons apparaître les positions des joints sur le maillage final :



Maillage Ox :

Zone	L (m)	n
1	3,00	3
2	2,26	4
3	0,04	1
4	5,40	9
5	0,04	1
6	2,26	4
7	3,00	3

Maillage Oy :

Zone	L (m)	n
1	2,50	3
2	2,48	5
3	0,04	1
4	2,48	5
4	2,50	3

I.4.3.3.2. Onglet "Plaque"

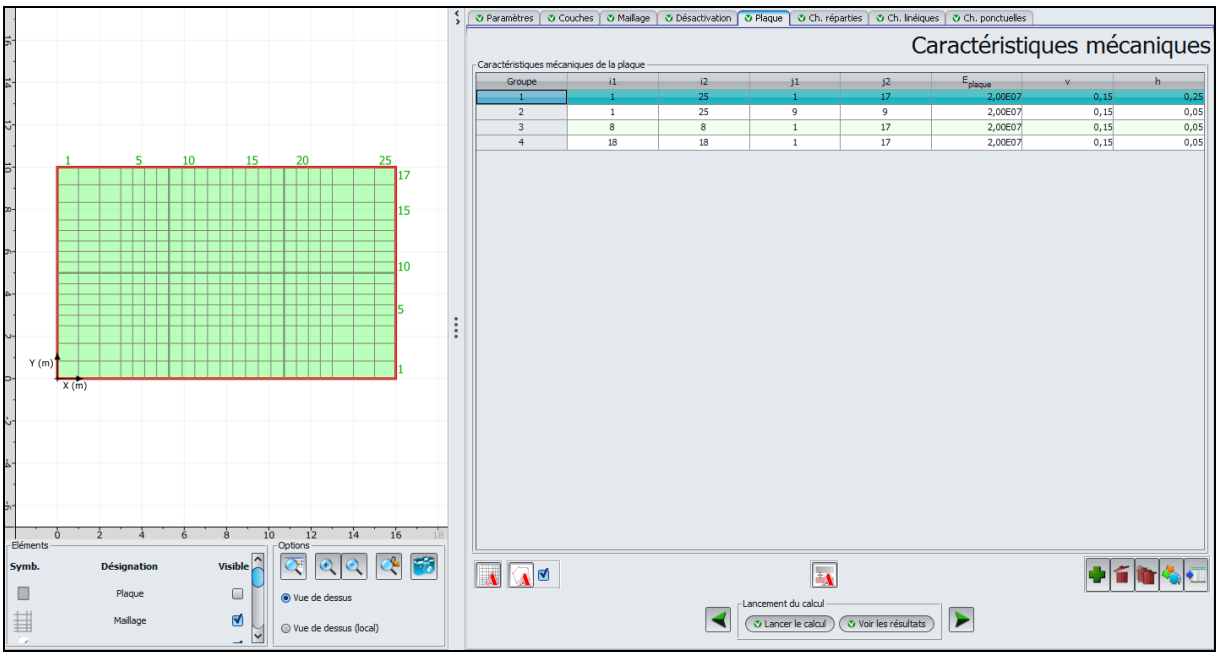
Dans cette étape, la plaque n'est plus homogène (elle est plus fine au niveau des joints). Il convient d'affecter aux zones représentatives des joints une épaisseur de 5 cm.

Il faut donc définir plusieurs zones permettant d'affecter des propriétés différentes à la plaque.

Nota : si un élément du maillage appartient à plus d'une zone, TASPLAQ affecte à cet élément les caractéristiques mécaniques de la dernière zone définie, ce qui explique l'ordre de définition considéré ci-dessus.

Nous procédons donc de la façon suivante :

- Définition d'une première zone couvrant toute la plaque, à laquelle on affecte les caractéristiques mécaniques du corps du dallage (E = 20 000 MPa, ν = 0,15 et h = 0,25 m) ;
- Puis définition de 3 zones représentatives des joints partiels, auxquelles on affecte les caractéristiques mécaniques des joints partiels (E = 20 000 MPa, ν = 0,15 et h = 0,05 m).

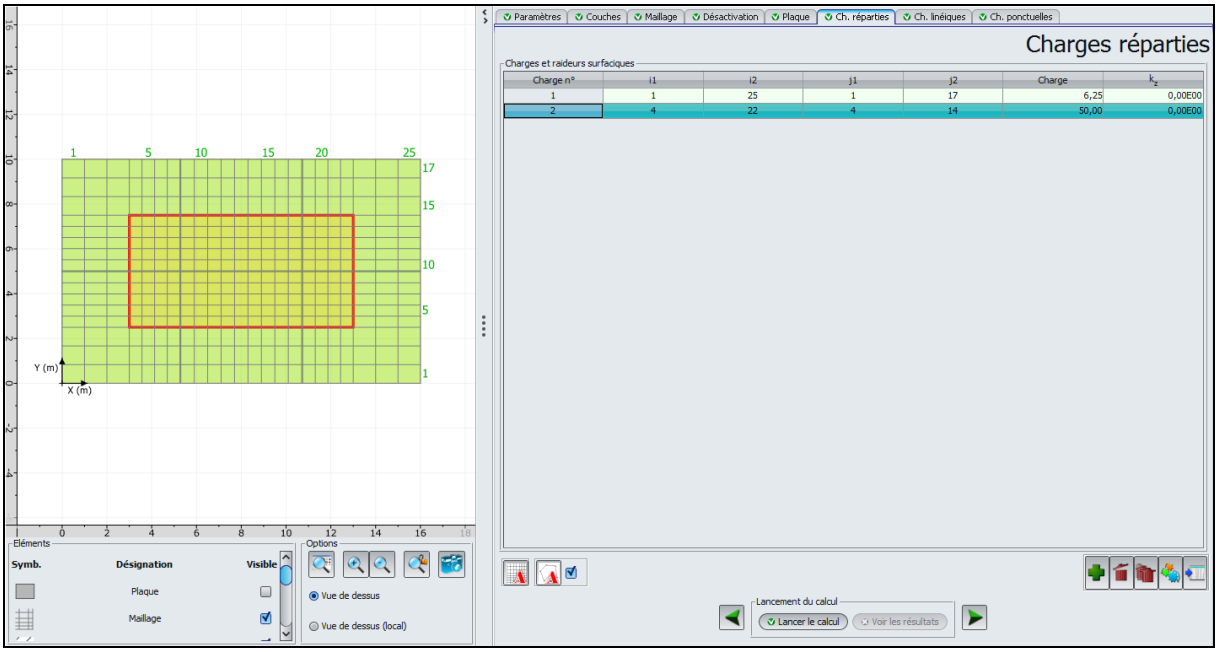


Les données à saisir sont les suivantes :

Groupe	i1	i2	j1	j2	E_{plaque} (kPa)	ν	h (m)
1	1	25	1	17	2,00E07	0,15	0,25
2	1	25	9	9	2,00E07	0,15	0,05
3	8	8	1	17	2,00E07	0,15	0,05
4	18	18	1	17	2,00E07	0,15	0,05

I.4.3.3.3. Onglet "Charge répartie"

Comme précédemment, il faut appliquer d'une part le poids propre de la plaque à l'ensemble de la plaque, et d'autre part la charge répartie de 50 kPa à la zone centrale chargée.
Par contre, le maillage a été modifié et il faut donc redéfinir les groupes d'éléments concernés.



Les données à modifier sont les suivantes :

N°	i1	i2	j1	j2	Charge (kPa)	K_z (kPa/m)
1	1	25	1	17	6,25	0
2	4	22	4	14	50,00	0

I.4.3.3.4. Calcul et résultats

Relancer le calcul en cliquant sur le bouton

.

Coupes graphiques

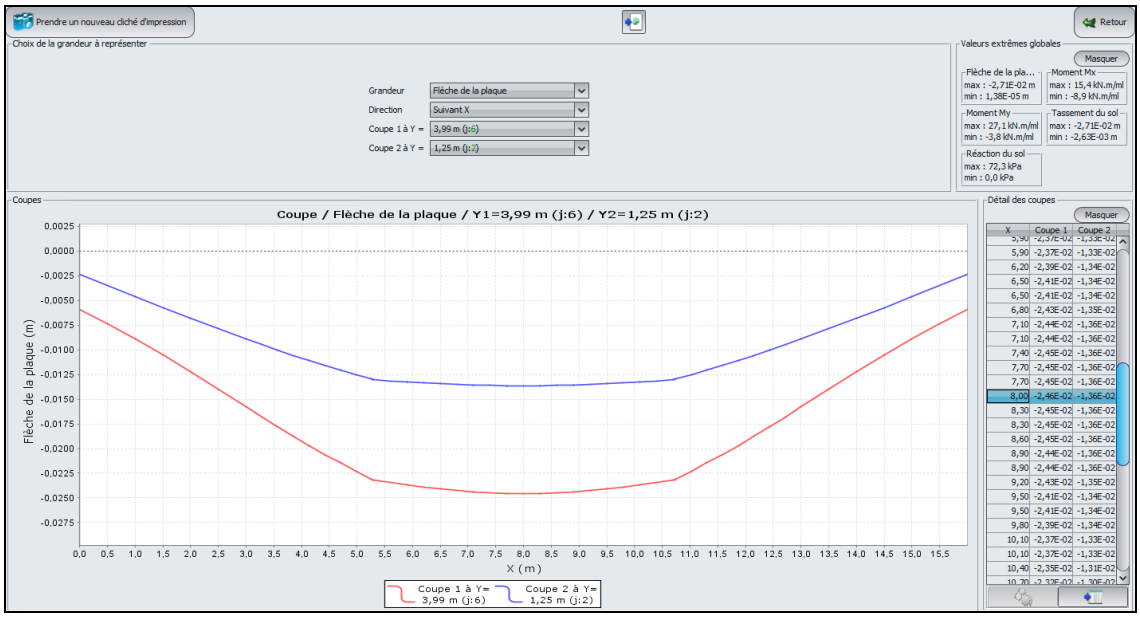
Flèche de la plaque :

Valeurs extrêmes globales :

- Max : -2,71E-02 m (soit -2,7 cm)
- Min : 1,38E-05 m (soit 0,0 cm)

Coupe suivant X :

Coupe 1 à Y = 3,99 m (j : 6) : en X = 8 m Flèche = -2,46 cm.
Coupe 2 à Y = 1,25 m (j : 2) : en X = 8 m Flèche = -1,36 cm.



On voit apparaître un comportement en "rotule" au droit des joints, qui se traduit par une discontinuité des rotations, et une atténuation de l'allure générale des sollicitations dans le dallage (voir ci-après).

Moment M_x suivant X :

Valeurs extrêmes globales :

- Max : 15 kN.m/ml
- Min : -9 kN.m/ml

Coupe suivant X :

Coupe 1 à Y = 4,11 m (j : 7) : en X = 8,15 m M_x = 15 kN.m/ml.
Coupe 2 à Y = 3,12 m (j : 5) : en X = 8,15 m M_x = 12 kN.m/ml.

Moment M_y suivant Y :

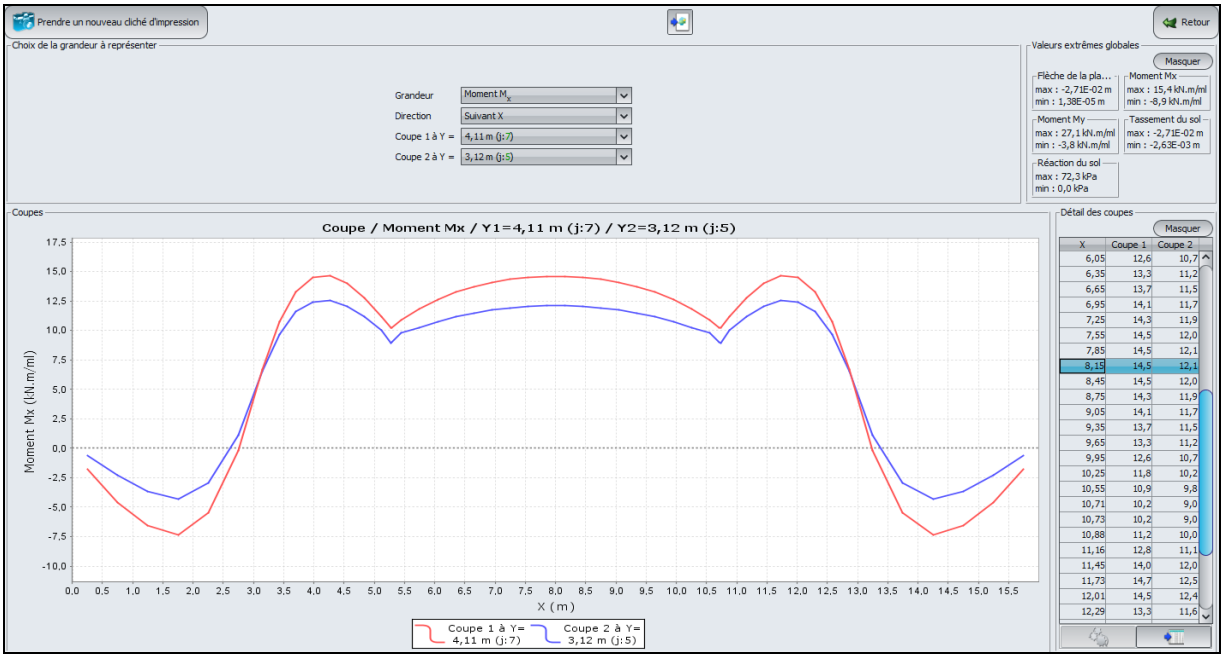
Valeurs extrêmes globales :

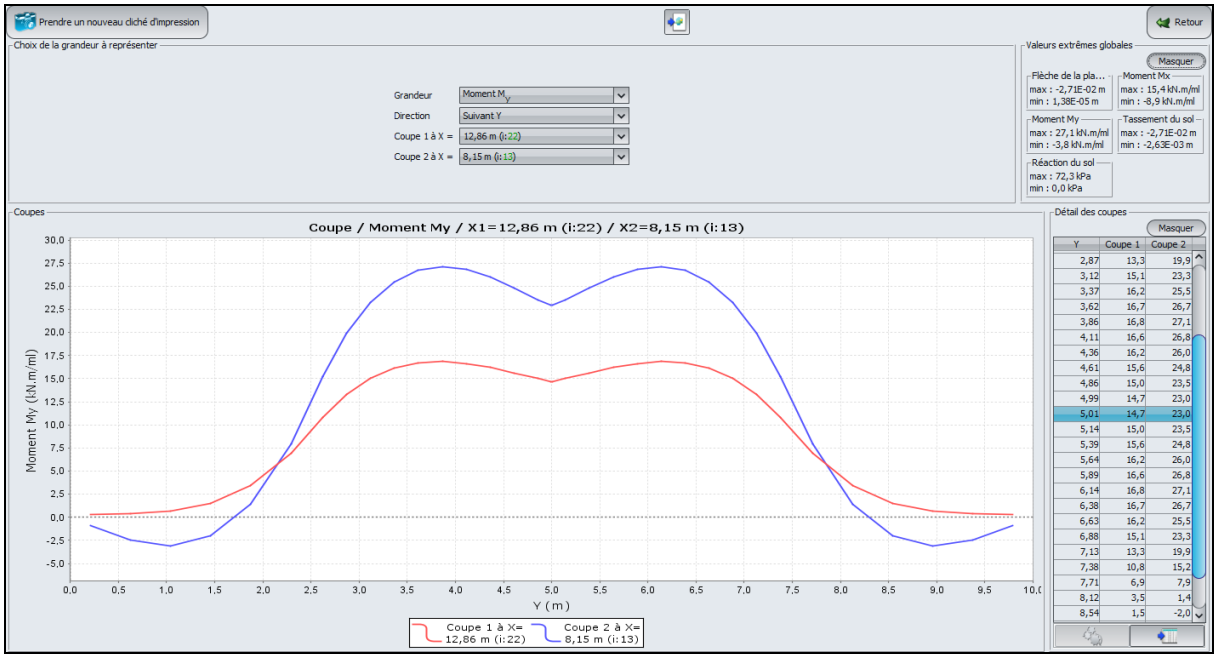
- Max : 27 kN.m/ml
- Min : -4 kN.m/ml

Coupe suivant Y :

Coupe 1 à X = 12,86 m (i : 22) : en Y = 5,01 m M_y = 15 kN.m/ml.
Coupe 2 à X = 8,15 m (i : 13) : en Y = 5,01 m M_y = 23 kN.m/ml.

*Edition juillet 2013 - **Copyright © Foxta v3 - 2011***





On relève l'amplitude des moments fléchissants dans cet exemple :

- $M_{x,\,max}$ = 15 kN.m/ml < 28 kN.m/ml pour le cas du dallage continu (étape 1) ;
- $M_{y,\,max}$ = 27 kN.m/ml < 53 kN.m/ml pour le cas du dallage continu (étape 1).

I.4.3.4. Etape 3 : Dallage avec joints francs sur sol multicouche élastique

On reprend le cas de l'étape 2 précédente. On suppose à présent que les joints considérés sont francs (dallage scié sur toute sa hauteur).
Les joints sont supposés de 4 cm de largeur, leur géométrie en plan est la même qu'à l'étape n° 2.

Pour modifier des données, cliquer sur le bouton

.

Puis enregistrer à nouveau le fichier sous un autre nom avant de continuer.

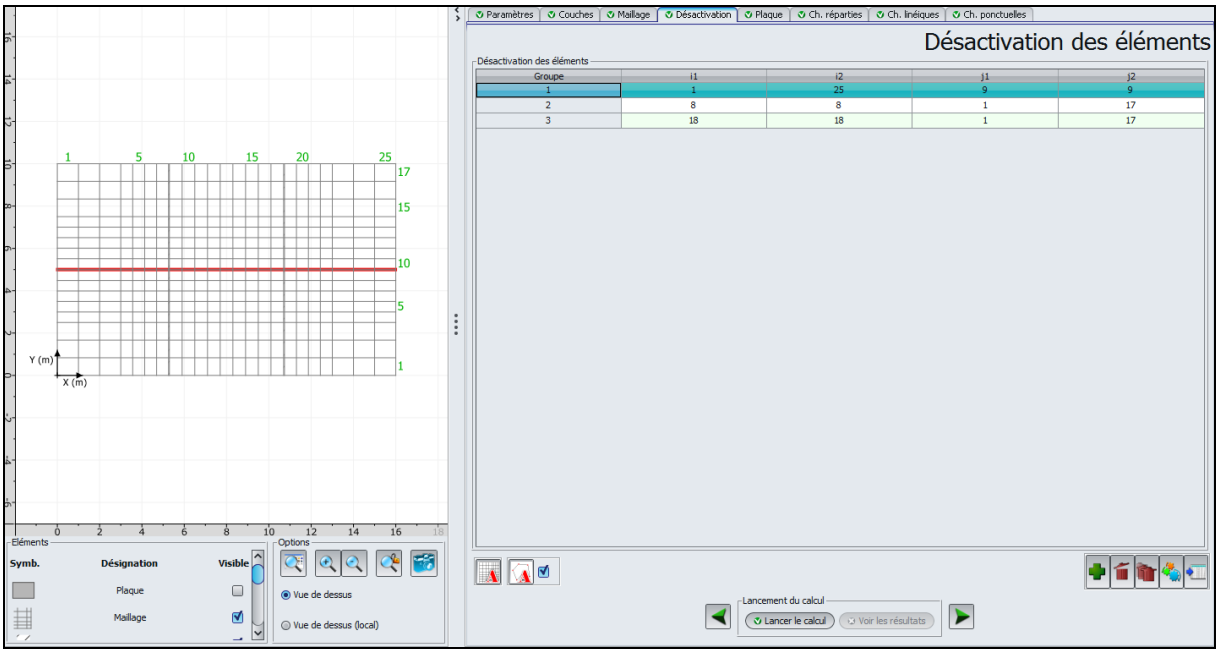
Comme précédemment, on détaille ci-après uniquement les données modifiées par rapport à l'étape 2. La géométrie en plan des joints n'ayant pas changé, on peut notamment conserver le maillage défini à l'étape 2.

I.4.3.4.1. Onglet "Désactivation"

Il convient à présent de désactiver les éléments correspondant aux joints francs. Cette étape de désactivation permet de définir la forme de la plaque.
Il s'agit pour cet exemple de définir six plaques désolidarisées les unes par rapport aux autres par le biais des joints.

Pour désactiver par exemple la zone correspondant au premier joint, définir un groupe d'éléments i1 = 8, i2 = 8, j1 = 1 et j2 = 17.

Procéder de même pour les 2 autres joints à définir.



Il est possible d'utiliser l'assistant maillage (voir manuel d'utilisation ou exemple 2).

Les données à saisir ici sont les suivantes :

Groupe	i1	i2	j1	j2
1	1	25	9	9
2	8	8	1	17
3	18	18	1	17

I.4.3.4.2. Onglet "Plaque"

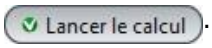
On peut ici revenir à une définition homogène des caractéristiques de la plaque sur l'ensemble du maillage, sans faire de distinction entre joints et plaque. En effet, TASPLAQ n'affecte les caractéristiques de la plaque qu'aux zones activées et exclut par conséquent automatiquement les zones désactivées (en l'occurrence les joints).

Il suffit donc de conserver la première zone définie à l'étape 2, et de supprimer les 3 autres zones correspondant aux joints.

Nota : il aurait également été possible de conserver les 4 lignes définies à l'étape 2 (y compris les joints), car les zones de joints étant désactivées, les 3 dernières lignes ne seraient pas prises en compte.

Groupe	i1	i2	j1	j2	E_{plaque} (kPa)	ν	h (m)
1	1	25	1	17	2,00E+07	0,15	0,25

I.4.3.4.3. Calcul et résultats

Relancer le calcul en cliquant sur le bouton 

.

<u>Coupes graphiques</u>

On peut illustrer les résultats obtenus, notamment en termes d'influence des joints introduits, en effectuant des coupes dans la plaque.

<u>Flèche de la plaque</u> :

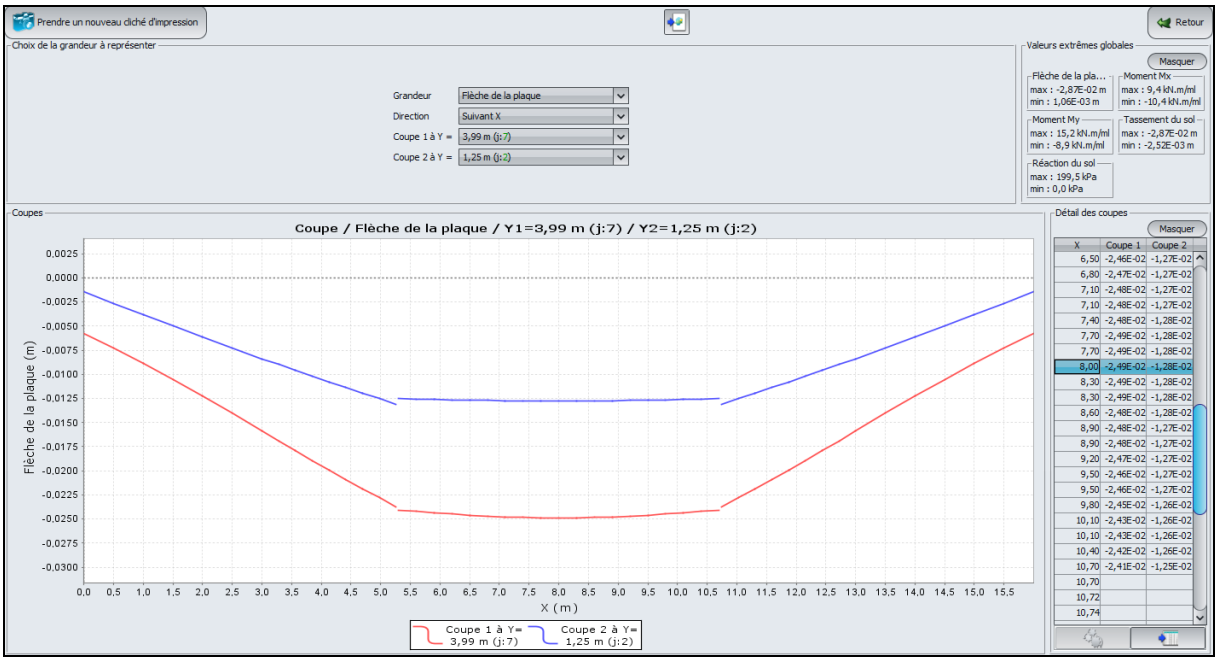
Valeurs extrêmes globales :

- Max : -2,87E-02 m (soit -2,9 cm)
- Min : 1,06E-03 m (soit 0,1 cm)

Coupe <u>suivant Ox</u> :

Coupe 1 à Y = 3,99 m (j : 7) : en X = 8 m Flèche = -2,49 cm.

Coupe 2 à Y = 1,25 m (j : 2) : en X = 8 m Flèche = -1,28 cm.



Moment M_x suivant X :

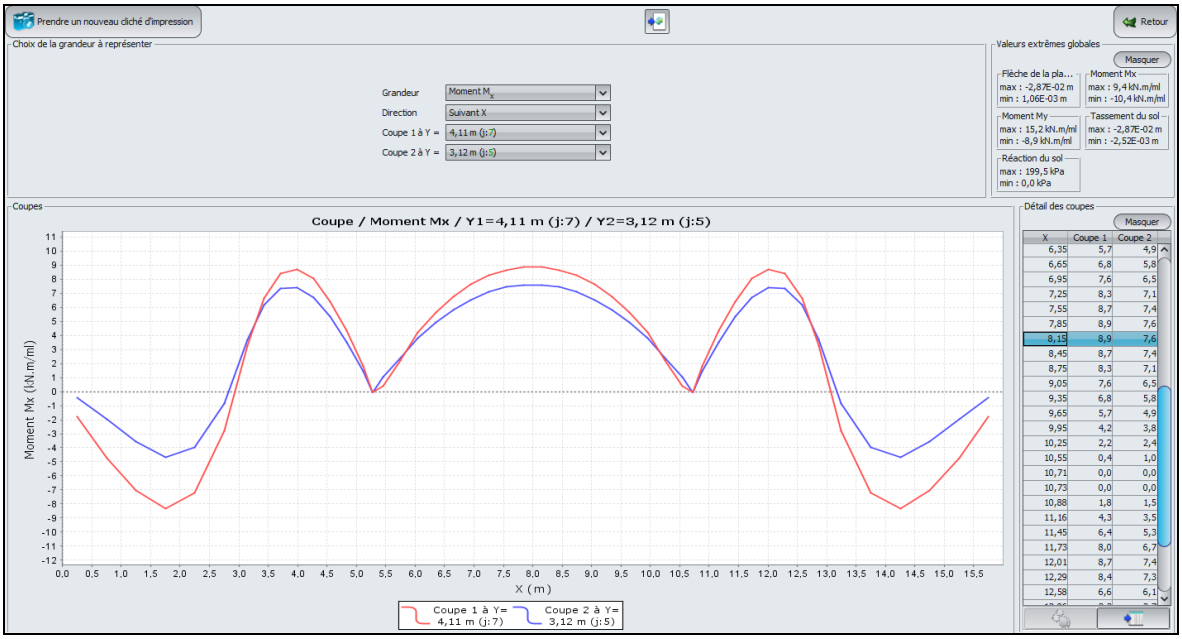
Valeurs extrêmes globales :

- Max : 9 kN.m/ml
- Min : -10 kN.m/ml

Coupe suivant Ox :

Coupe 1 à Y = 4,11 m (j : 7) : en X = 8,15 m Mx = 9 kN.m/ml.

Coupe 2 à Y = 3,12 m (j : 5) : en X = 8,15 m Mx = 8 kN.m/ml.



Moment M_y suivant Y :

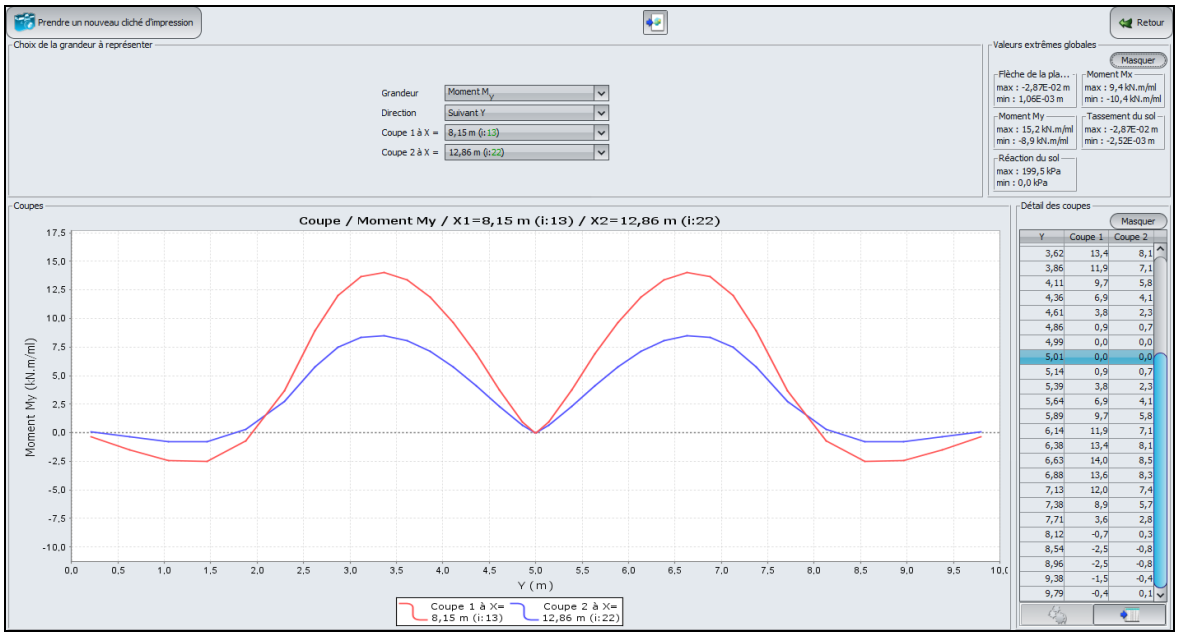
Valeurs extrêmes globales :

- Max : 15 kN.m/ml
- Min : -9 kN.m/ml

Coupe suivant Oy :

Coupe 1 à X = 8,15 m (i : 13) : en Y = 5,01 m M_y = 0 kN.m/ml.

Coupe 2 à X = 12,86 m (i : 22) : en Y = 5,01 m M_y = 0 kN.m/ml.

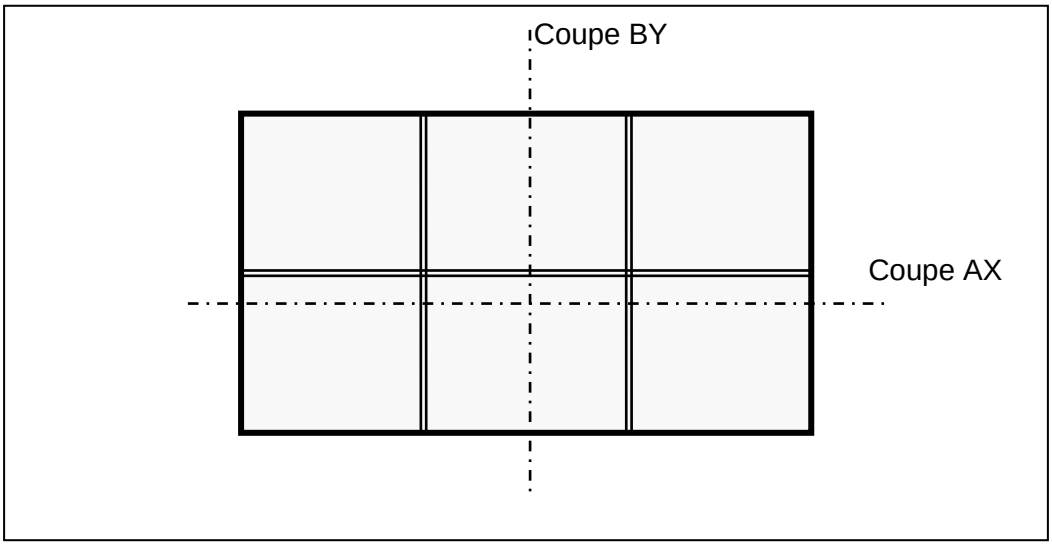


On relève l'amplitude des moments fléchissants dans cet exemple :

- $M_{x, max}$ = 10 kN.m/ml < 0,4 x 28 kN.m/ml pour le cas du dallage continu (étape 1) ;
- $M_{y, max}$ = 15 kN.m/ml < 0,3 x 53 kN.m/ml pour le cas du dallage continu (étape 1).

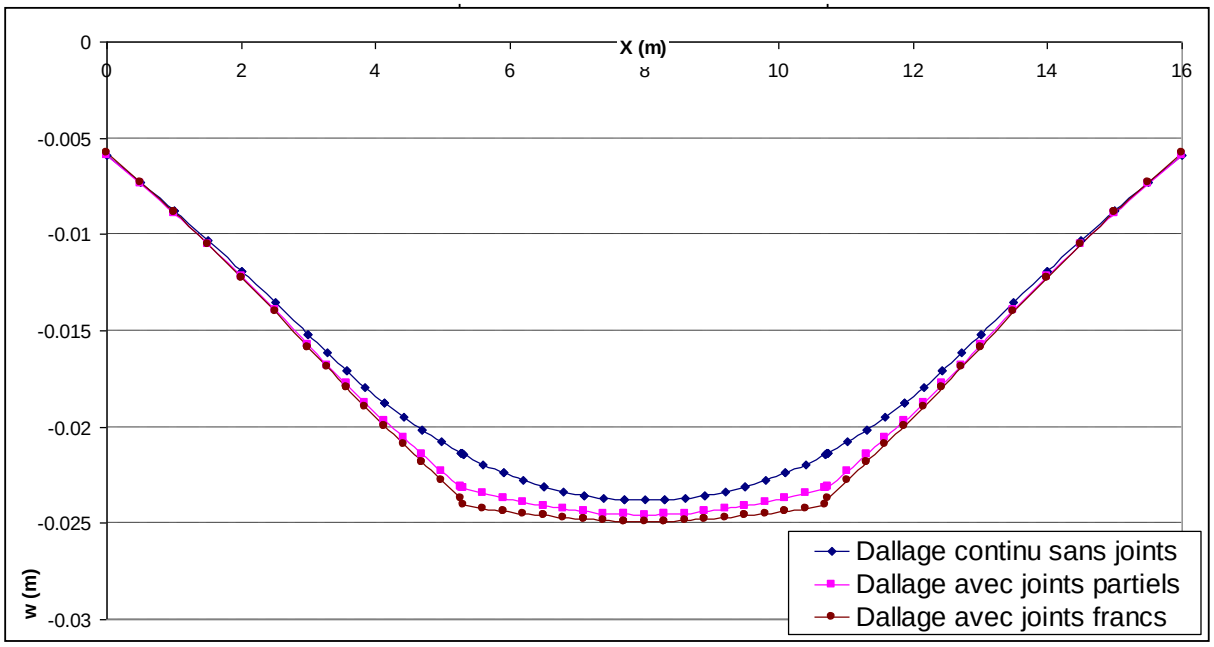
I.4.3.5. Comparaison des trois situations étudiées

Afin d'illustrer l'incidence des joints sur l'allure et l'amplitude des sollicitations dans le corps du dallage, on se propose de superposer les résultats obtenus pour les trois situations étudiées, à savoir, le premier cas d'un dallage continu, celui d'un dallage avec joints partiels, et enfin le cas d'un dallage avec joints francs. La comparaison est réalisée au droit des deux coupes représentées sur la figure ci-dessous :

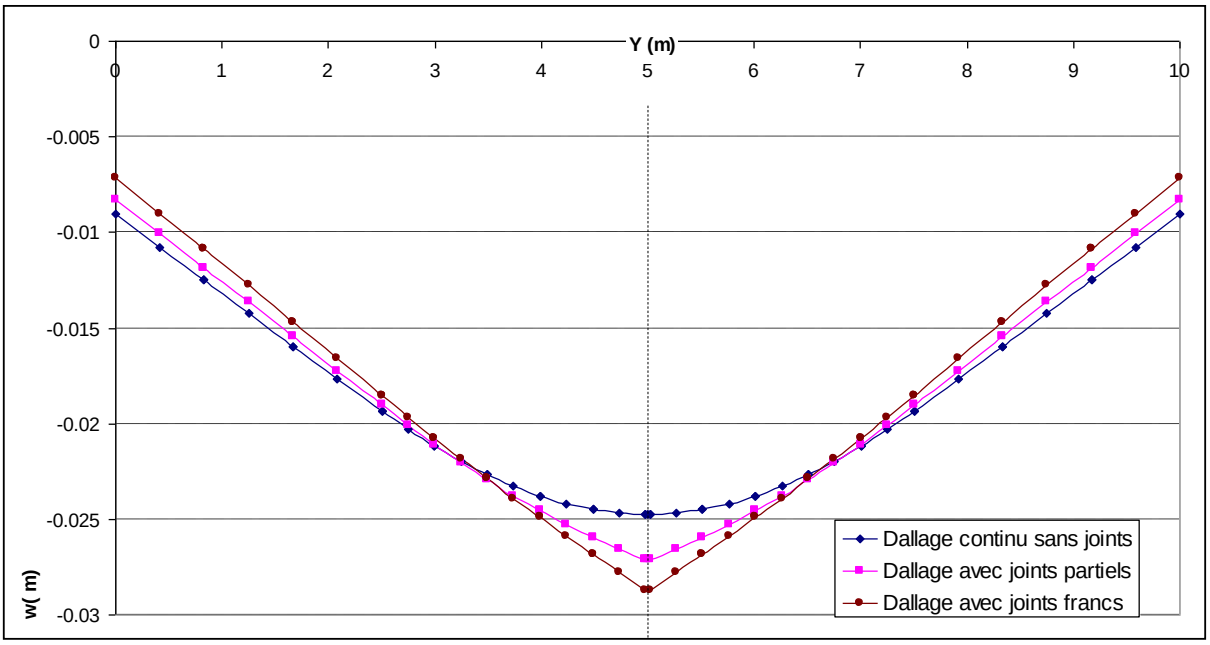


Ci-après les résultats obtenus :

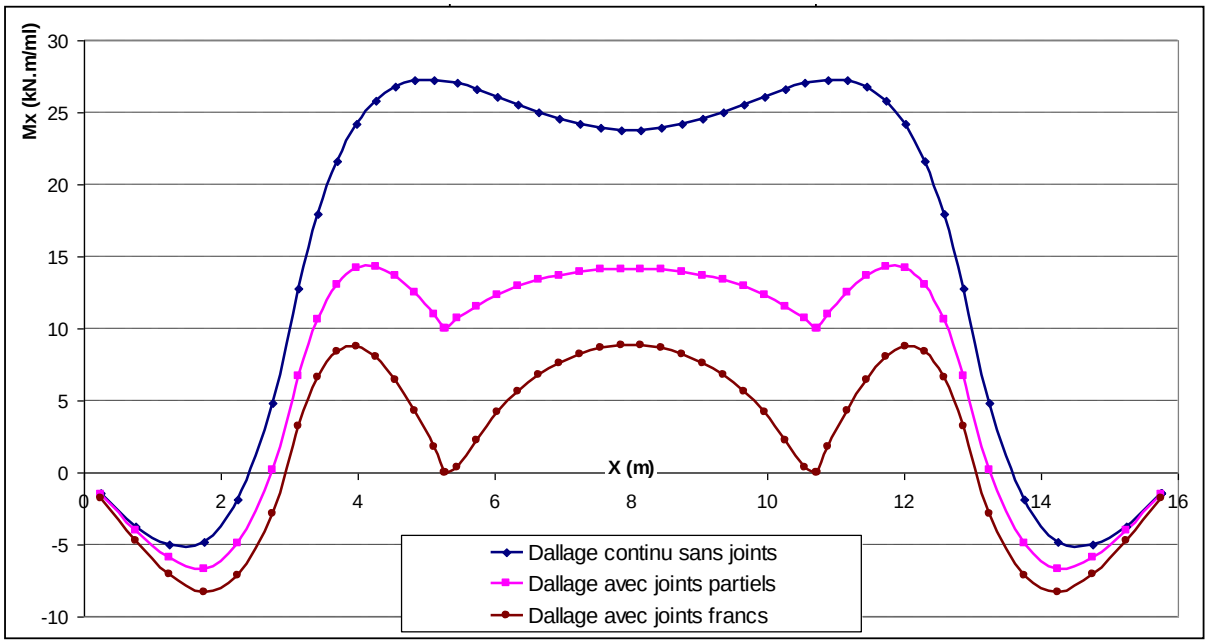
<u>Tassement du corps du dallage suivant la coupe AX</u> :



Tassement du corps du dallage suivant la coupe BY :

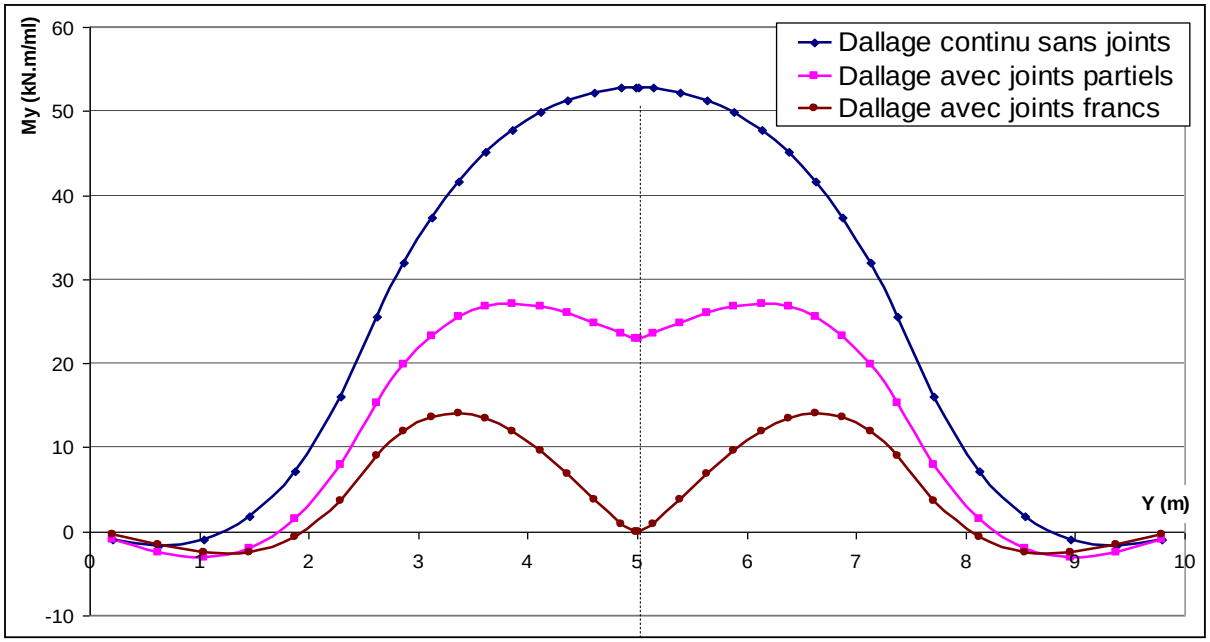


Moment M_x suivant la coupe AX :



*Edition juillet 2013 - **Copyright © Foxta v3 - 2011***

Moment M_y suivant la coupe BY :



Au niveau des déformations, on observe qu'avec l'introduction des joints, le comportement du dallage ressemble de plus en plus à celui de 6 panneaux désolidarisés voisins interagissant via le massif support. Au niveau des sollicitations, on constate que la considération des joints permet d'atténuer considérablement l'amplitude et l'allure des moments dans le dallage.

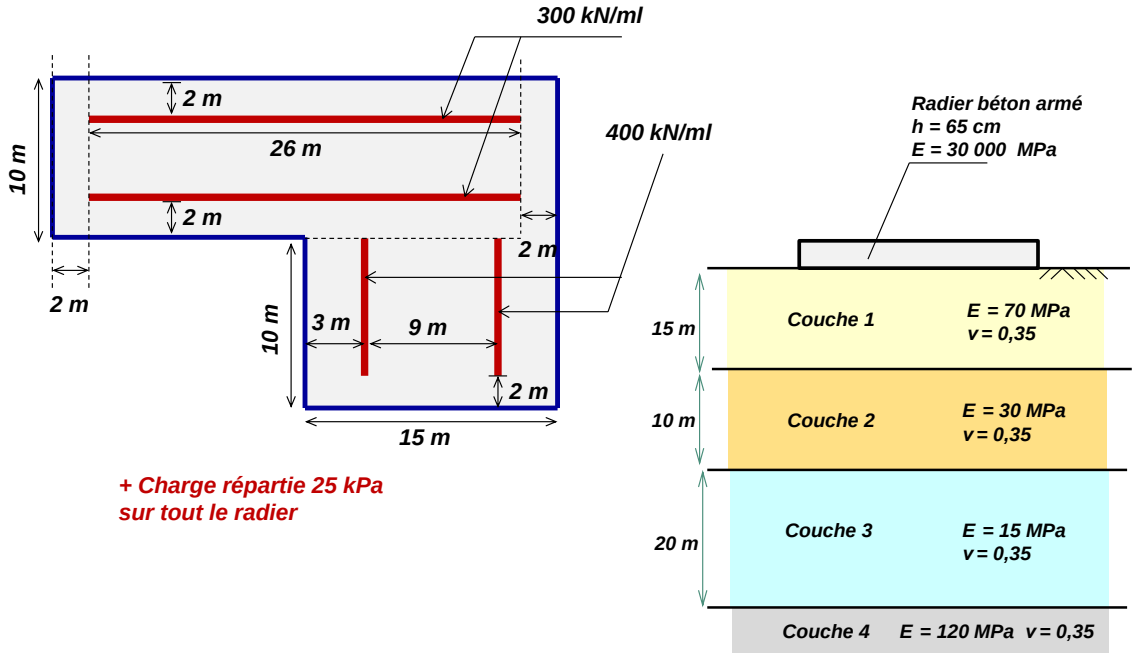
I.4.4. Exemple 4 : Radier en L sous chargement linéique et interaction avec un remblai

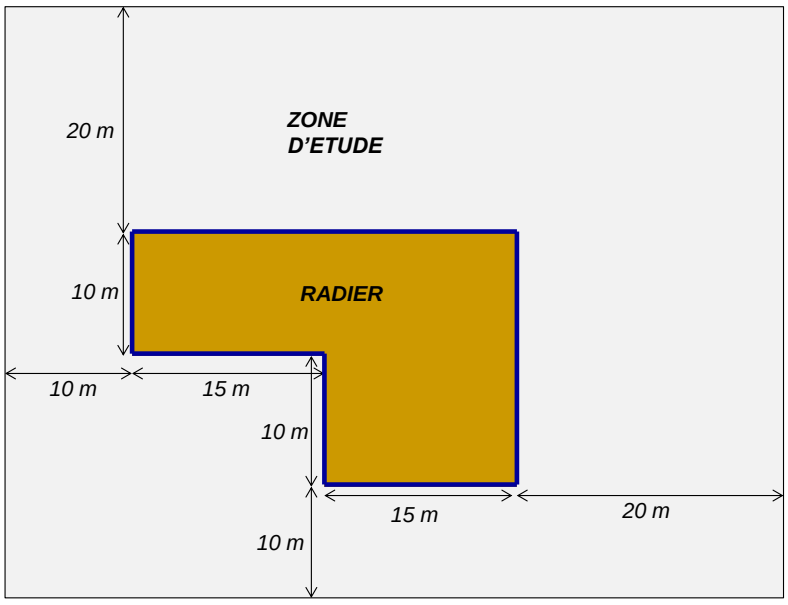
I.4.4.1. Etape 1 : Radier en L sous chargement linéique

Un radier en forme de "L" est soumis, en plus de l'action d'une charge répartie de 25 kPa, à l'application de deux charges linéiques de 300 kN/ml selon l'axe Ox et de deux charges linéiques de 400 kN/ml selon l'axe Oy.

Le sol autour du radier a été pris en compte pour montrer l'effet du chargement sur le radier sur les ouvrages environnants éventuels.

Les figures suivantes représentent les données du projet traité.





I.4.4.2. Saisie des données

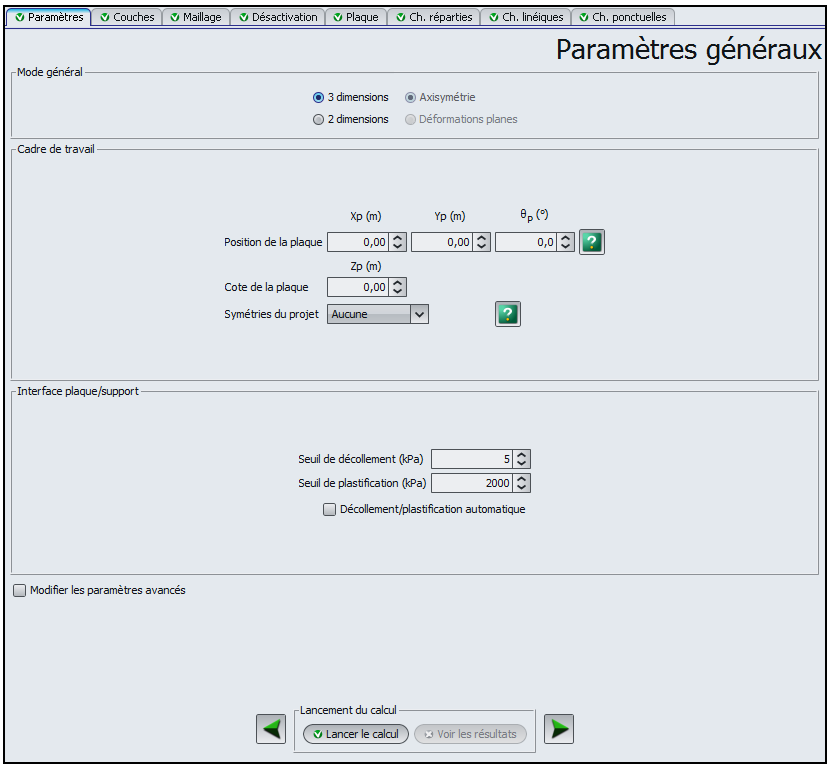
Créer un nouveau projet (en suivant la même procédure que pour les premiers exemples).

Sélectionner le module TASPLAQ puis cliquer sur le bouton

.

I.4.4.2.1. Onglet "Paramètres"

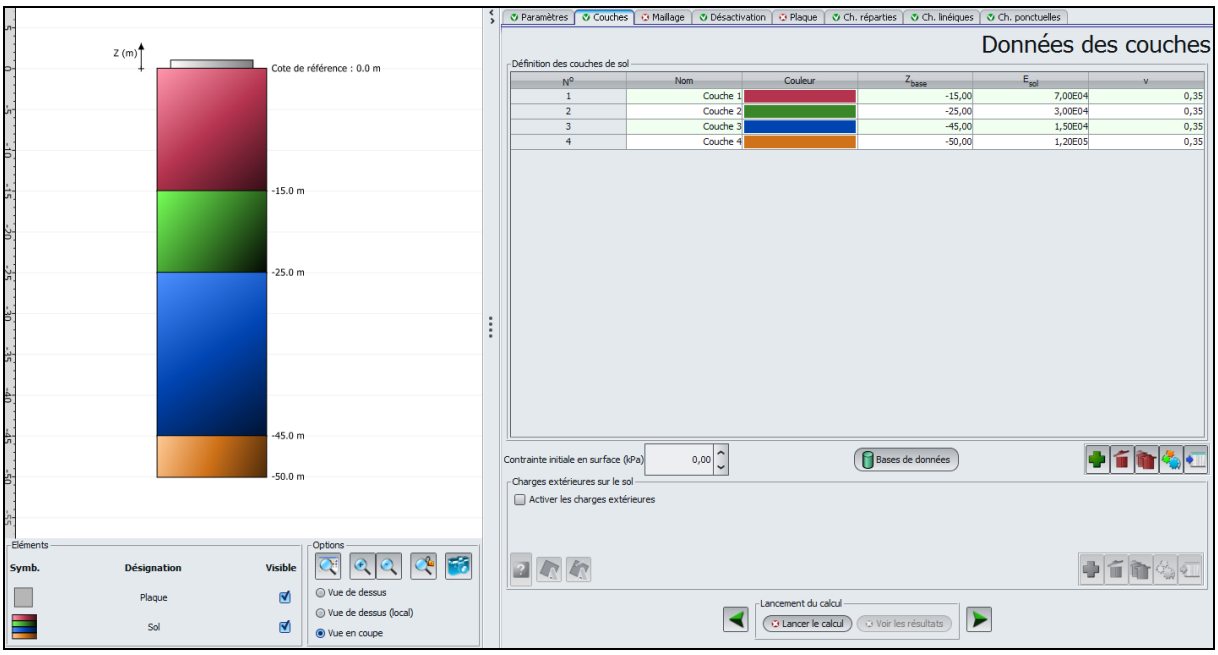
Compléter les données conformément à l'écran ci-dessous (on conserve ici les choix proposés par défaut).



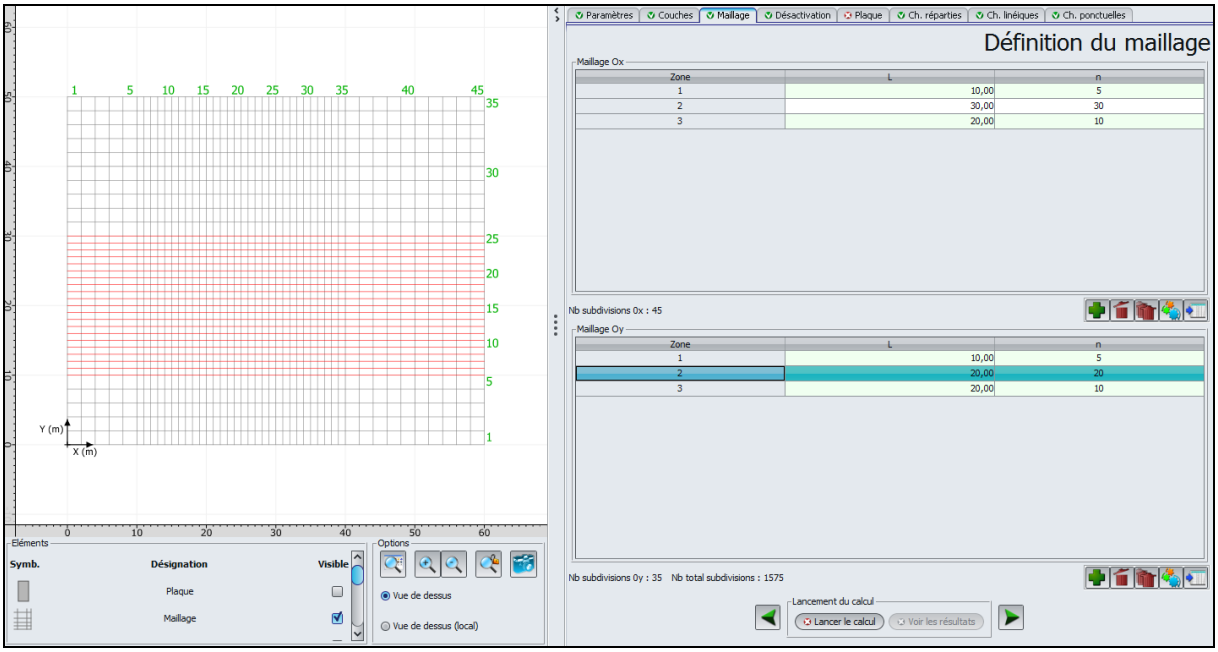
I.4.4.2.2. Onglet "Couches"

Compléter les données conformément à l'écran et au tableau ci-dessous.

Nom	Z_{base} (m)	E_{sol} (kPa)	ν
Couche 1	-15,0	7,00E+04	0,35
Couche 2	-25,0	3,00E+04	0,35
Couche 3	-45,0	1,50E+04	0,35
Couche 4	-50,0	1,20E+05	0,35



I.4.4.2.3. Onglet "Maillage"



Cadre "Maillage Ox" :

Zone	L (m)	n
1	10	5
2	30	30
3	20	10

Cadre "Maillage Oy" :

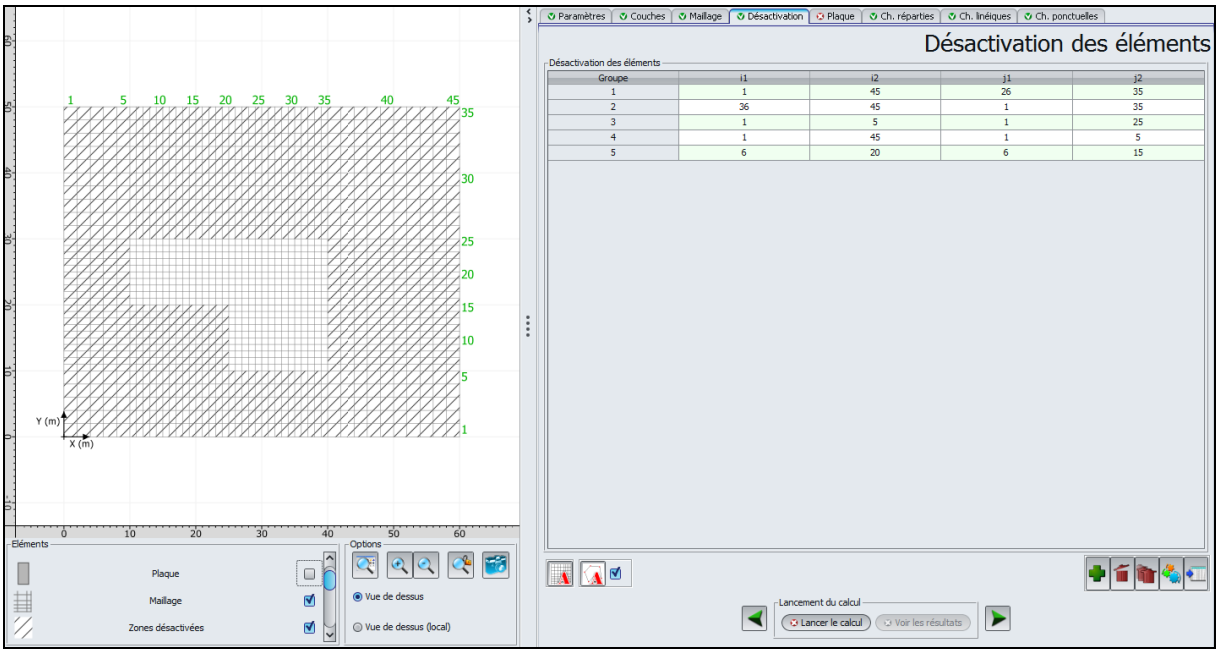
Zone	L (m)	n
1	10	5
2	20	20
3	20	10

I.4.4.2.4. Onglet "Désactivation"

Il convient de désactiver des éléments afin d'obtenir le radier en L considéré.

Il y a plusieurs "solutions" de désactivation pour arriver au même résultat, sachant qu'un élément peut être désactivé plusieurs fois.

Ci-dessous les données correspondant à l'une de ces méthodes possibles.



Groupe	i1	i2	j1	j2
1	1	45	26	35
2	36	45	1	35
3	1	5	1	25
4	1	45	1	5
5	6	20	6	15

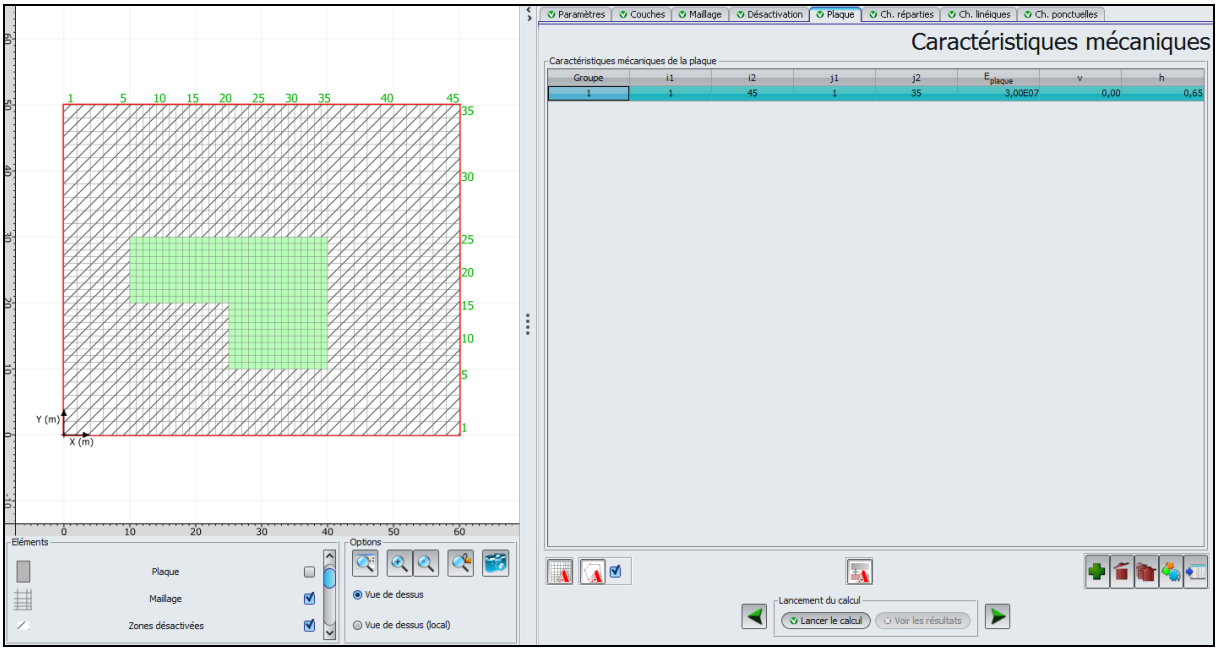
L'assistant maillage est disponible en cliquant sur le bouton . Il permet de désactiver des zones par sélection à la souris notamment (voir les exemples précédents pour le détail de l'utilisation de cet assistant).

I.4.4.2.5. Onglet "Plaque"

Dans cet exemple, le radier est homogène et continu. Pour définir ses caractéristiques, il suffit de définir une seule zone couvrant tout le modèle, sachant que seules les zones actives de la plaque se verront effectivement affecter ces caractéristiques.

Groupe	i1	i2	j1	j2	E_{plaque} (kPa)	ν	h (m)
1	1	45	1	35	3,00E+07	0,00	0,65

Le choix d'un coefficient de Poisson nul s'explique par l'hypothèse d'un radier constitué en béton armé.

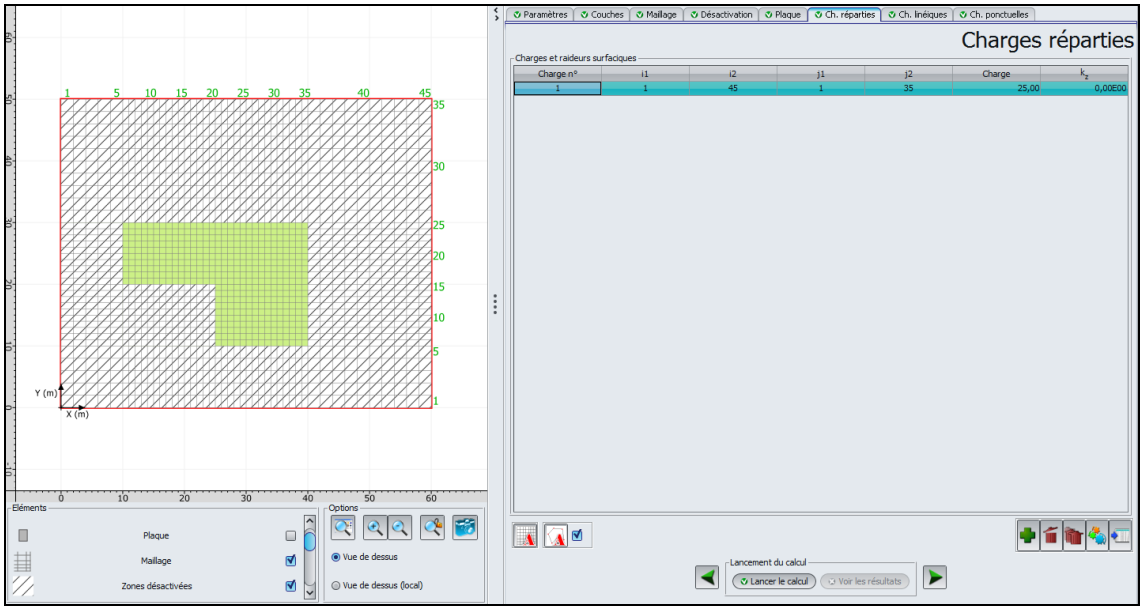


I.4.4.2.6. Onglet "Charges Réparties"

Nous devons définir une charge répartie de 25 kPa sur une zone couvrant toute la plaque : là aussi, nous pouvons la définir sur un rectangle couvrant tout le modèle ; elle ne sera effectivement appliquée que sur les éléments de plaque actifs.

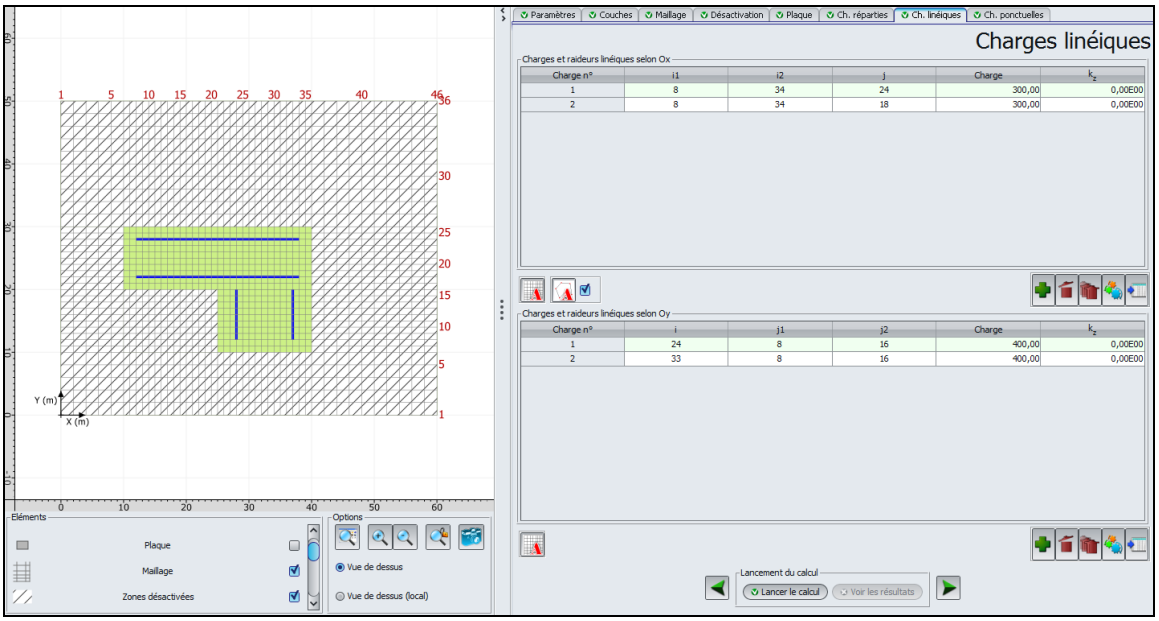
Charge n°	i1	i2	j1	j2	Charge (kPa)	k_z (kPa/m)
1	1	45	1	35	25	0

*Edition juillet 2013 - **Copyright © Foxta v3 - 2011***



I.4.4.2.7. Onglet "Charges linéiques"

Deux charges linéiques selon Ox (300 kN/ml) et deux charges linéiques selon Oy (400 kN/ml) sont à définir sur le radier.



Charge n°	i1	i2	j	Charge (kPa)	k_z (kPa/m)
1	8	34	24	300	0
2	8	34	18	300	0

Charge n°	j1	j2	i1	Charge (kPa)	k_z (kPa/m)
1	24	8	16	400	0
2	33	8	16	400	0

L'assistant maillage est disponible en cliquant sur le bouton . Son fonctionnement est décrit dans les exemples précédents.

I.4.4.2.8. Onglet "Charges ponctuelles"

Il n'y a pas de charge ponctuelle dans cet exemple.

I.4.4.3. Calcul et Résultats

Lancer le calcul puis accéder aux résultats.

I.4.4.3.1. Résultats numériques formatés

Tout copier | Copier uniquement la sélection

REACTION DU SOL ET TASSEMENT SOUS LES NOEUDS (COORDONNEES GLOBALES)

noeud	X	Y	statut	Pression	Tassement	Flèche
001,001	0.000	0.000	désactivé	0.000	0.219397E-02	0.000000E+00
002,001	2.000	0.000	désactivé	0.000	0.253939E-02	0.000000E+00
003,001	4.000	0.000	désactivé	0.000	0.291640E-02	0.000000E+00
004,001	6.000	0.000	désactivé	0.000	0.332331E-02	0.000000E+00
005,001	8.000	0.000	désactivé	0.000	0.375724E-02	0.000000E+00
006,001	10.000	0.000	désactivé	0.000	0.421389E-02	0.000000E+00
007,001	11.000	0.000	désactivé	0.000	0.444900E-02	0.000000E+00
008,001	12.000	0.000	désactivé	0.000	0.468748E-02	0.000000E+00
009,001	13.000	0.000	désactivé	0.000	0.492837E-02	0.000000E+00
010,001	14.000	0.000	désactivé	0.000	0.517058E-02	0.000000E+00
011,001	15.000	0.000	désactivé	0.000	0.541282E-02	0.000000E+00
012,001	16.000	0.000	désactivé	0.000	0.565376E-02	0.000000E+00
013,001	17.000	0.000	désactivé	0.000	0.589188E-02	0.000000E+00
014,001	18.000	0.000	désactivé	0.000	0.612553E-02	0.000000E+00
015,001	19.000	0.000	désactivé	0.000	0.635283E-02	0.000000E+00
016,001	20.000	0.000	désactivé	0.000	0.657179E-02	0.000000E+00
017,001	21.000	0.000	désactivé	0.000	0.678027E-02	0.000000E+00

Au droit des nœuds désactivés, la réaction du sol est nulle (absence de la plaque) mais un tassement est bien calculé, c'est l'intérêt d'étendre l'emprise du modèle au delà de la zone occupée réellement par le radier.

I.4.4.3.2. Résultats graphiques - Coupes

<u>Tassement du sol</u> :

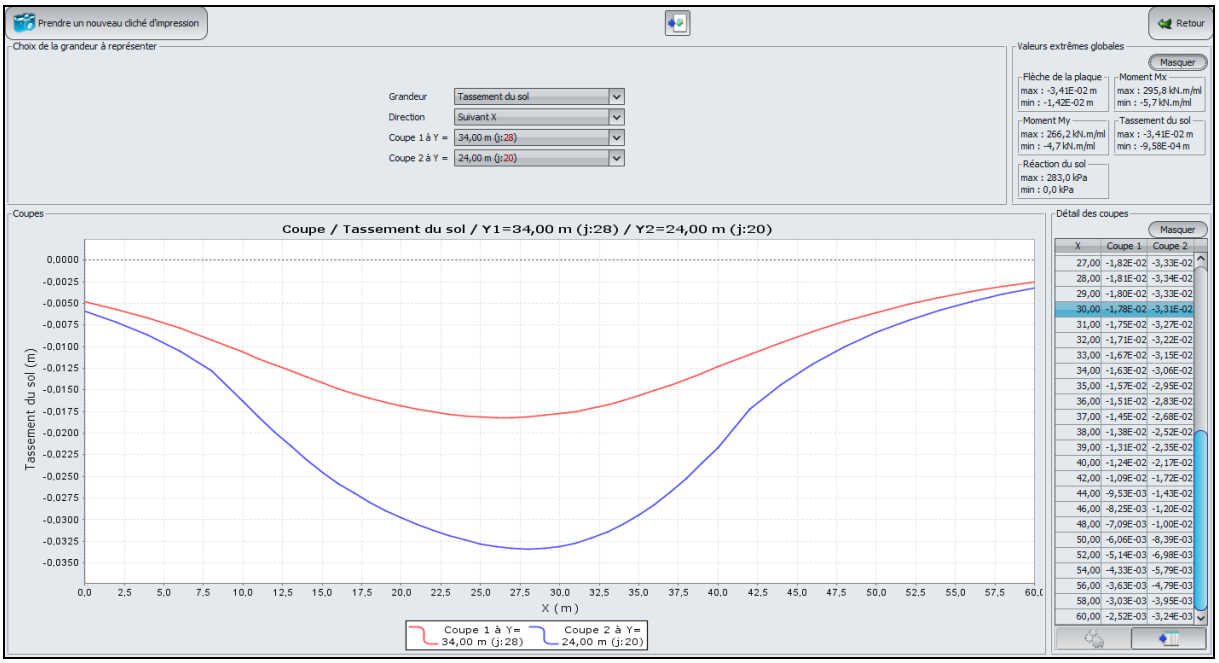
Valeurs extrêmes globales :

- Max : -3,41E-02 m (soit -3,4 cm)
- Min : -9,58E-04 m (soit -0,1 cm)

<u>Coupe suivant X</u> :

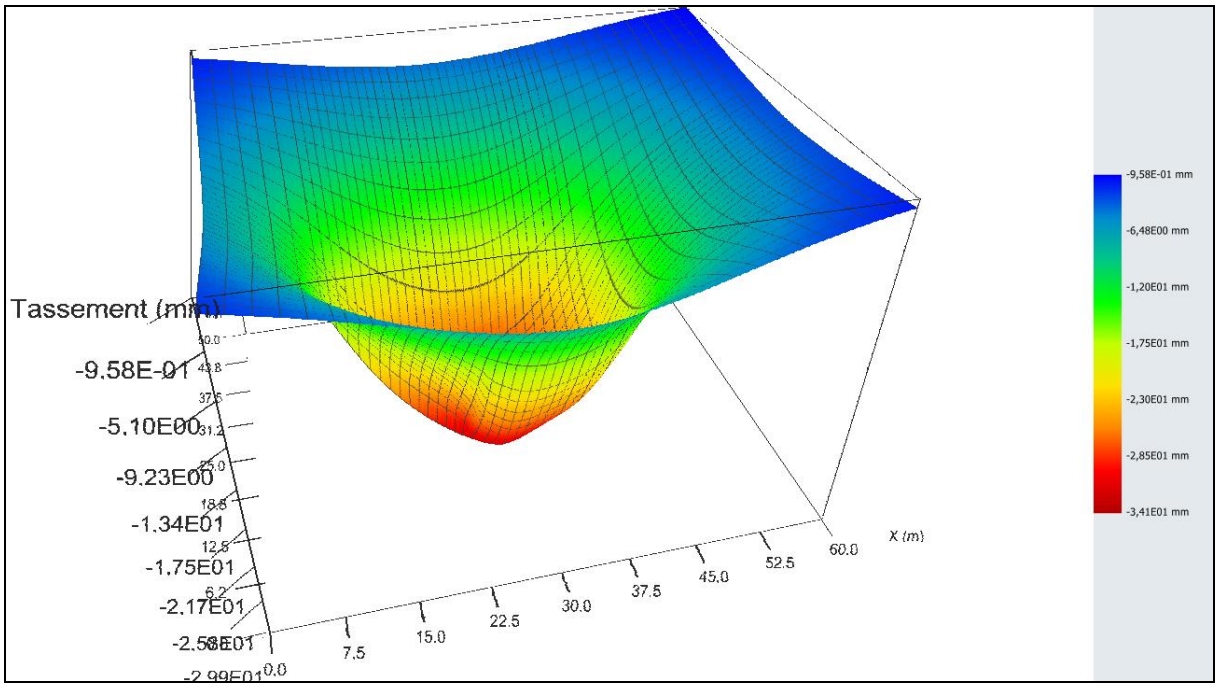
Coupe 1 à Y = 34 m (j : 28) : à X = 30 m Tassement du sol = -1,8 cm

Coupe 2 à Y = 24 m (j : 20) : à X = 30 m Tassement du sol = -3,3 cm



I.4.4.3.3. Résultats graphiques 3D

Tassement du sol

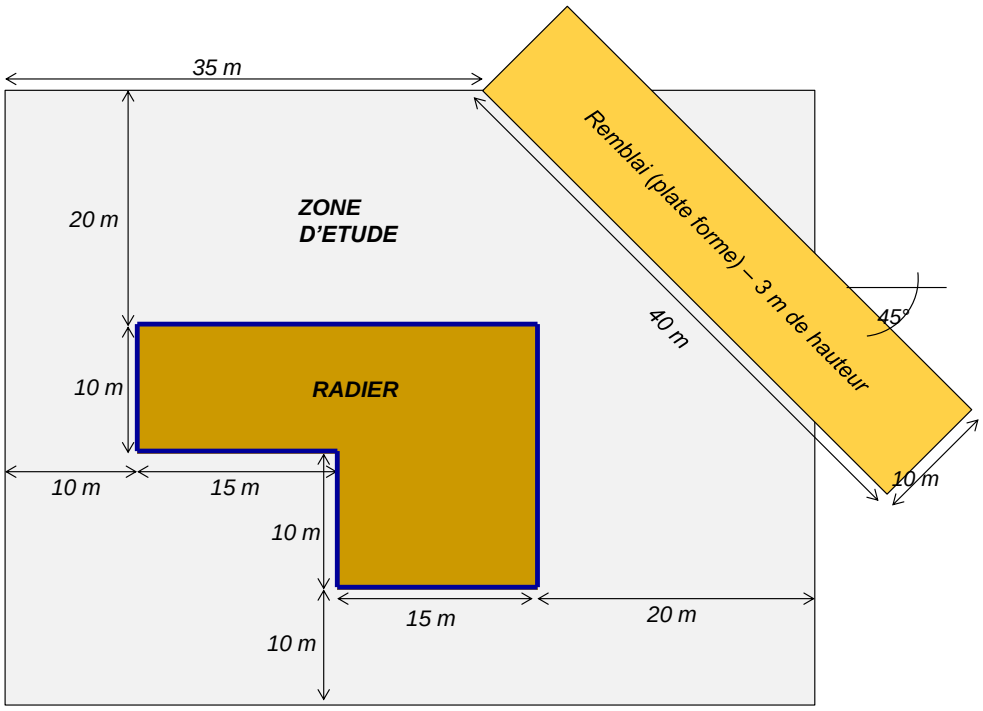


L'intérêt de cet exemple est d'illustrer l'aptitude de TASPLAQ à traiter non seulement le tassement engendré par le radier dans sa zone d'application mais également celui du massif autour.

Notons que ceci n'aurait pas été possible si on avait appliqué l'approche courante qui consiste à assimiler le sol à un des ressorts juxtaposés (indépendants par définition).

I.4.4.4. Etape 2 : Influence d'un remblai voisin

On cherche à présent à étudier l'influence d'un remblai de 3 m de hauteur apportant une surcharge au sol de 60 kPa au voisinage du radier. La géométrie en plan du remblai est donnée sur la figure ci-dessous.



I.4.4.4.1. Saisie des données

Nous allons partir du projet précédent (étape 1) et ajouter une charge sur le sol à l'extérieur de la plaque. Ouvrir le projet précédent et l'enregistrer sous un nom différent.

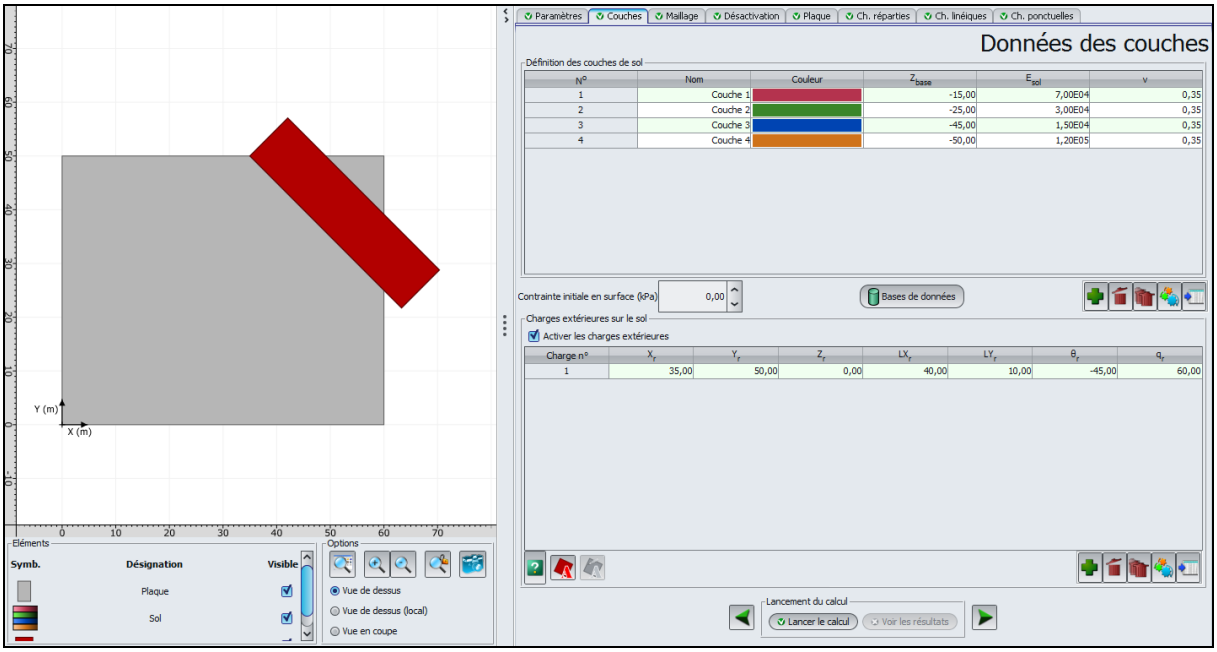
I.4.4.4.2. Onglet "Couches"

L'ajout d'un remblai est simulé via la saisie d'une charge extérieure (à la plaque) de 60 kPa (appliquée directement sur le sol).

Nota : TASPLAQ considère implicitement que la charge du remblai et celles du radier sont appliquées simultanément !

Charge n°	X_r (m)	Y_r (m)	Z_r (m)	LX_r (m)	LY_r (m)	θ (°)	q_r (kPa)
1	35,0	50,0	0,0	40	10	-45	60

*Edition juillet 2013 - **Copyright © Foxta v3 - 2011***



I.4.4.4.3. Résultats

On peut maintenant comparer les nouveaux résultats obtenus aux précédents, et visualiser l'influence du remblai sur les tassements.

Résultats graphiques - Coupes

Tassement du sol :

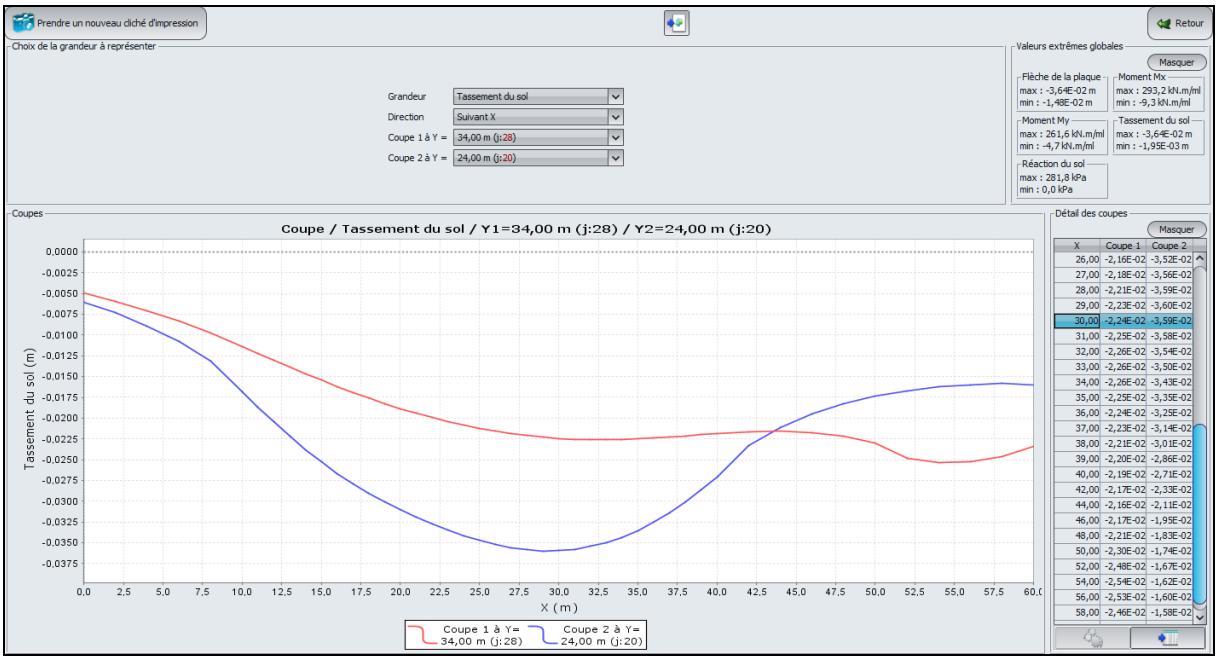
Valeurs extrêmes globales :

- Max : -3,64E-02 m (soit -3,6 cm)
- Min : -1,95E-03 m (soit -0,2 cm)

Coupe suivant X :

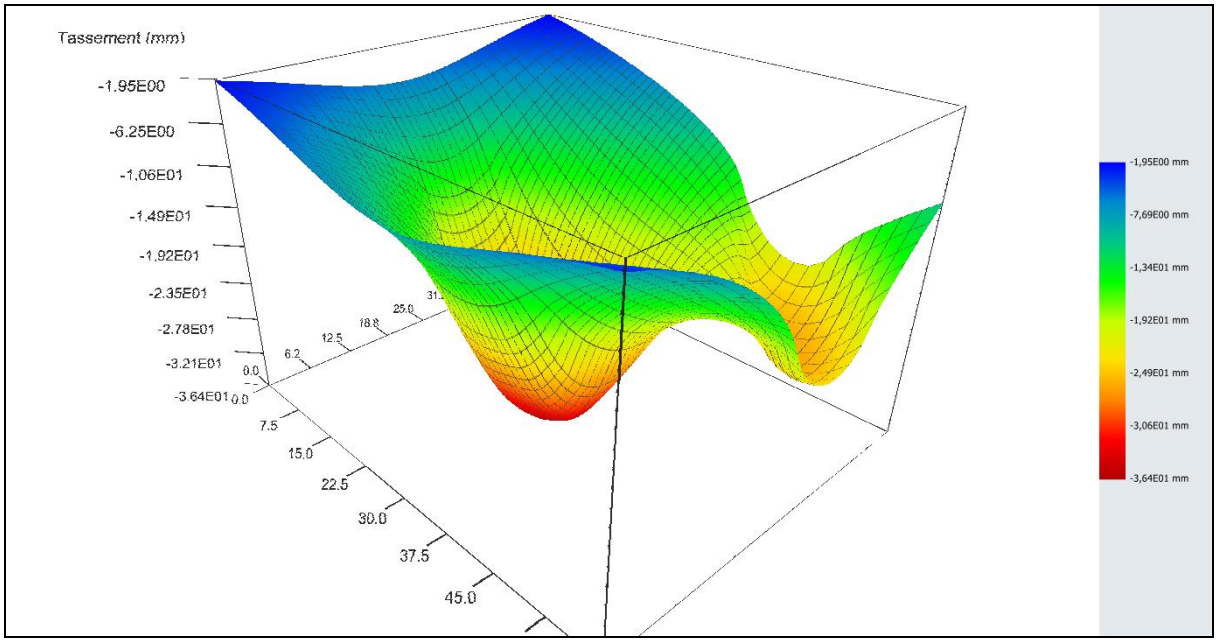
Coupe 1 à Y = 34 m (j : 28) : à X = 30 m Tassement du sol = -2,24 cm

Coupe 2 à Y = 24 m (j : 20) : à X = 30 m Tassement du sol = -3,59 cm

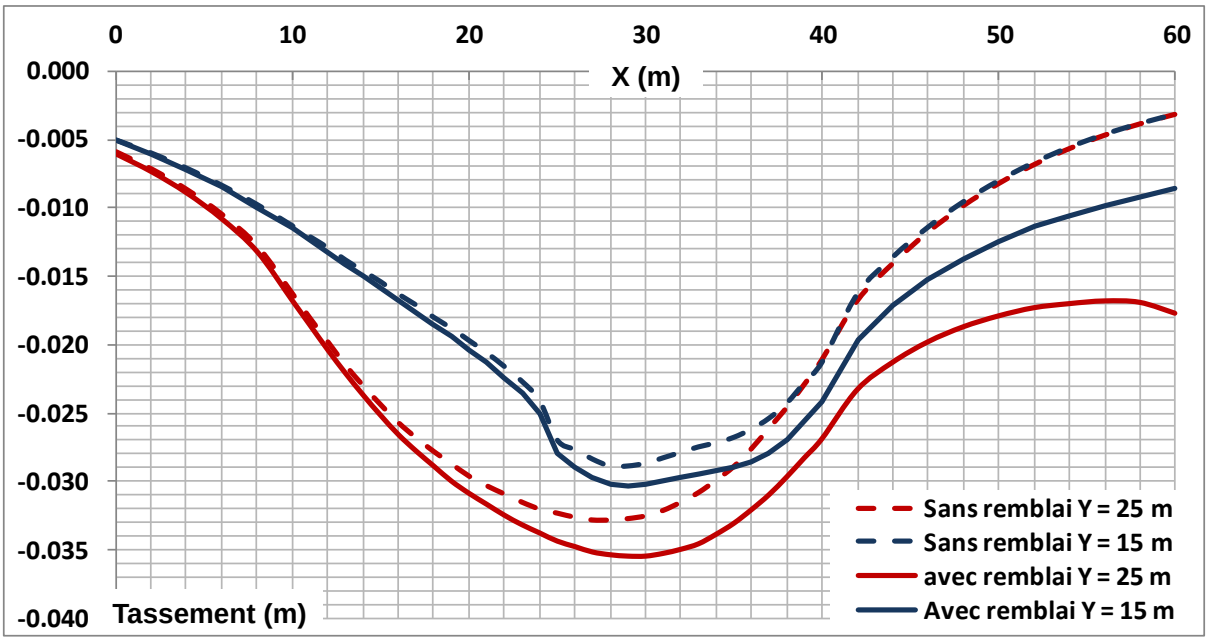


Résultat graphique 3D

Tassement du sol

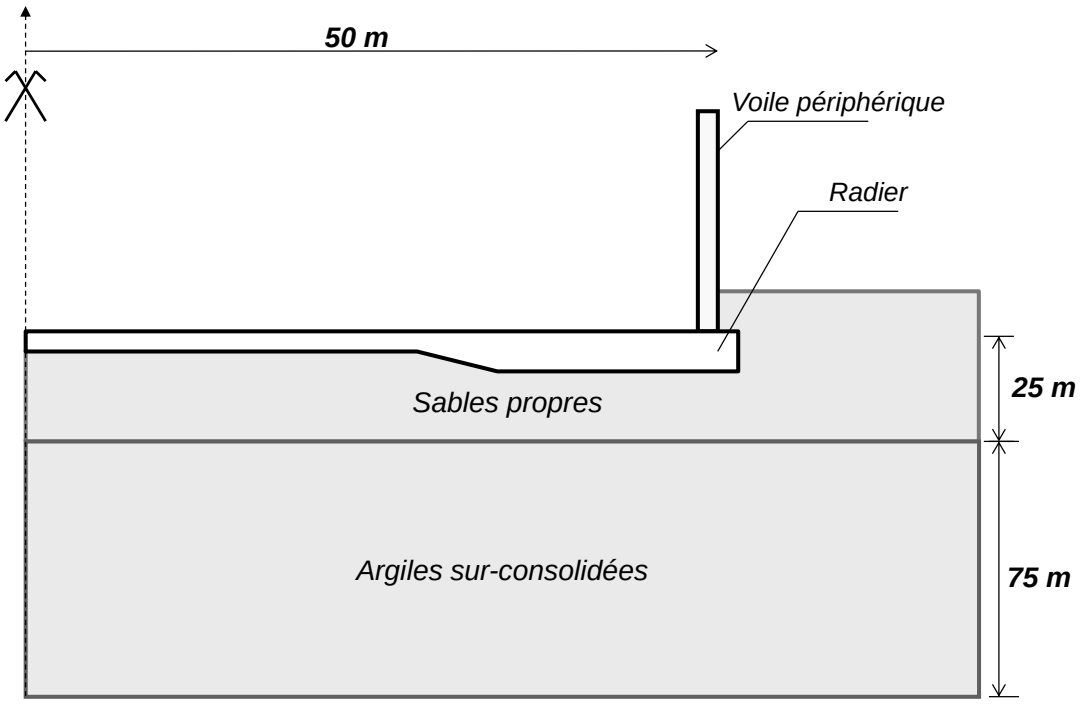


L'intérêt de la 2ème étape de cet exemple est d'illustrer l'aptitude de TASPLAQ à gérer les problèmes d'interaction entre un radier et un remblai voisin. Celui-ci, dans le présent exemple, tasse non seulement dans sa zone d'application mais produit également un effet d'entraînement du radier. Ce phénomène d'interaction est également illustré par le graphique ci-dessous.



I.4.5. Exemple 5 : Calcul de tassements sous un réservoir circulaire

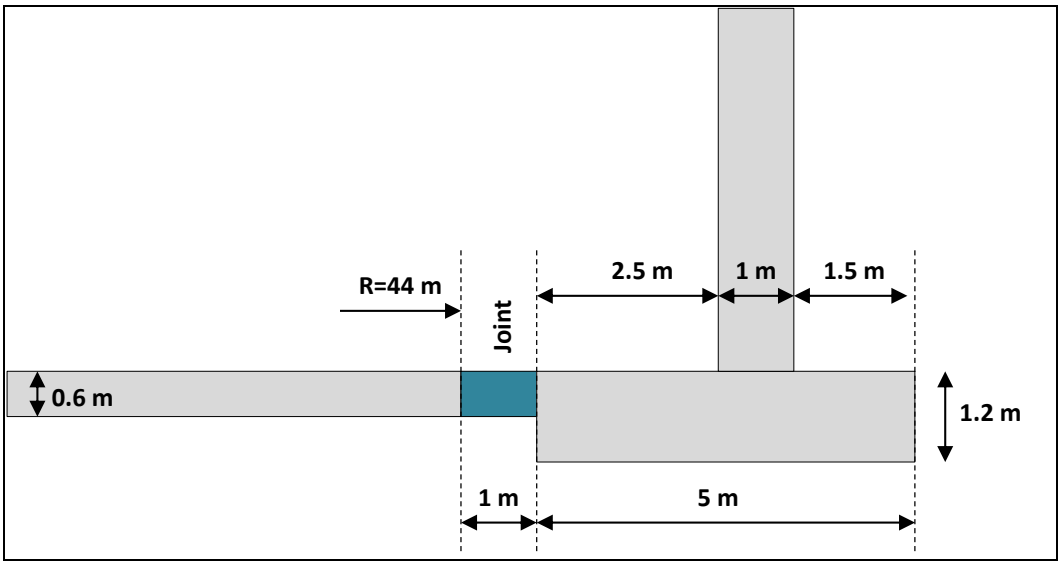
Cet exemple présente le calcul de tassements sous un réservoir circulaire de 100 m de diamètre. Le réservoir est construit sur un horizon sableux de 25 m d'épaisseur, reposant sur une couche d'argile très fortement sur-consolidée. Le substratum mécanique est rencontré à 100 m de profondeur.



Le radier comprend une zone centrale de 0,6 m d'épaisseur et une zone périphérique de 1,2 m. Il est partiellement ancré dans le sol.

La jonction entre les zones centrale et périphériques est faite par l'intermédiaire d'un joint de clavage de 1 m de largeur.

L'axe du voile périphérique est situé à 2 m du bord du patin. La géométrie exacte de la structure est donnée ci-dessous.



Géométrie de la partie périphérique de l'ouvrage

Le phasage de réalisation et de mise en service du réservoir est le suivant :

- Construction : coulage de la partie centrale et du patin et réalisation du voile périphérique et du dôme ;
- Clavage ;
- Hydrotest (remplissage et vidange complète du réservoir) ;
- Mise en service.

Lors de cette analyse, on s'intéresse aux tassements produits au droit du réservoir et au voisinage de celui-ci. Nous allons étudier successivement 2 conditions de chargement différentes, correspondant aux phases de construction et d'hydrotest respectivement.

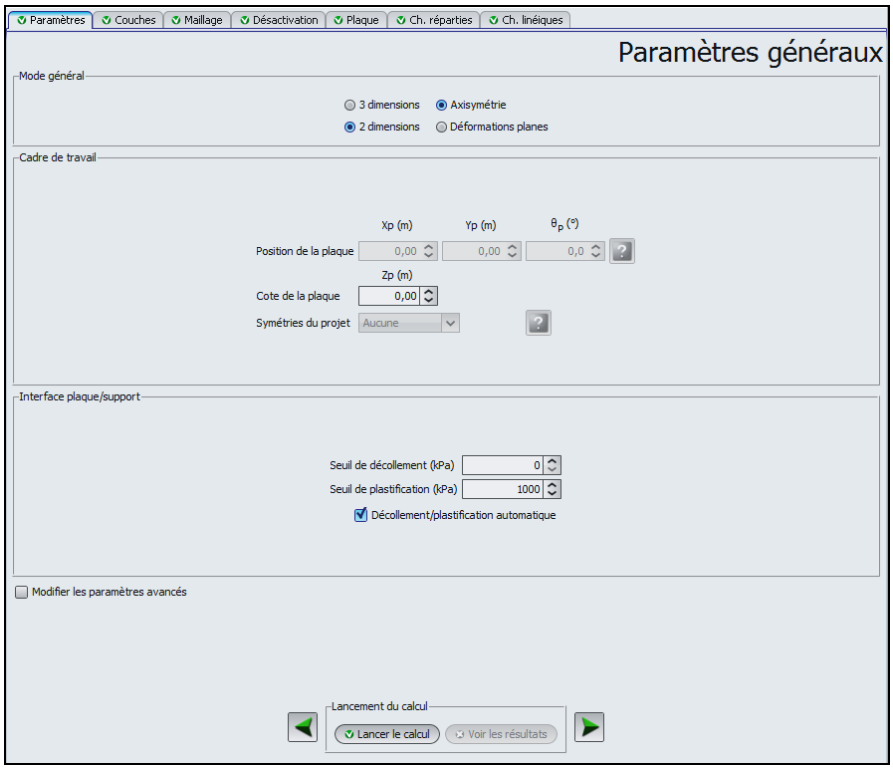
I.4.5.1. Phase de construction du réservoir

Créer un nouveau projet Foxta v3 et sélectionner le module TASPLAQ, puis cliquer sur le bouton Créer :

I.4.5.1.1. Onglet "Paramètres"

L'analyse peut être effectuée à l'aide d'un modèle axisymétrique.

Compléter cet onglet comme indiqué sur l'écran ci-dessous.

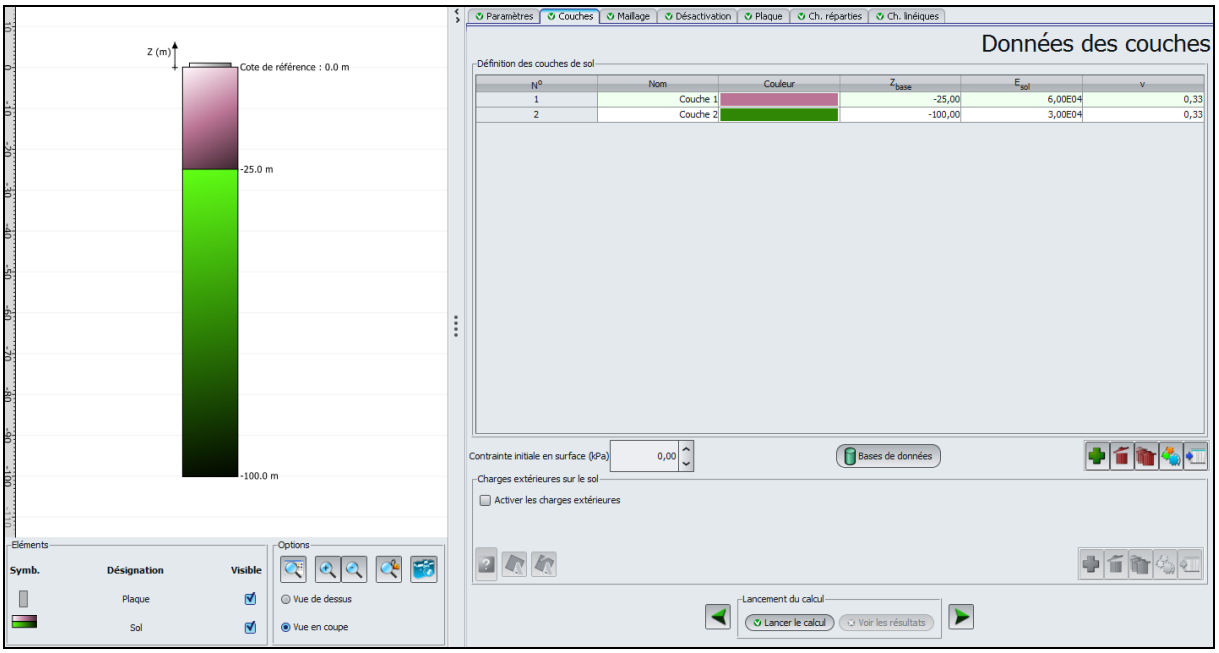


A noter que pour cet exemple, on coche la case "Décollement/plastification automatique", avec les valeurs de seuil suivantes :

- Décollement : 0 kPa
- Plastification : 1000 kPa

I.4.5.1.2. Onglet "Couches"

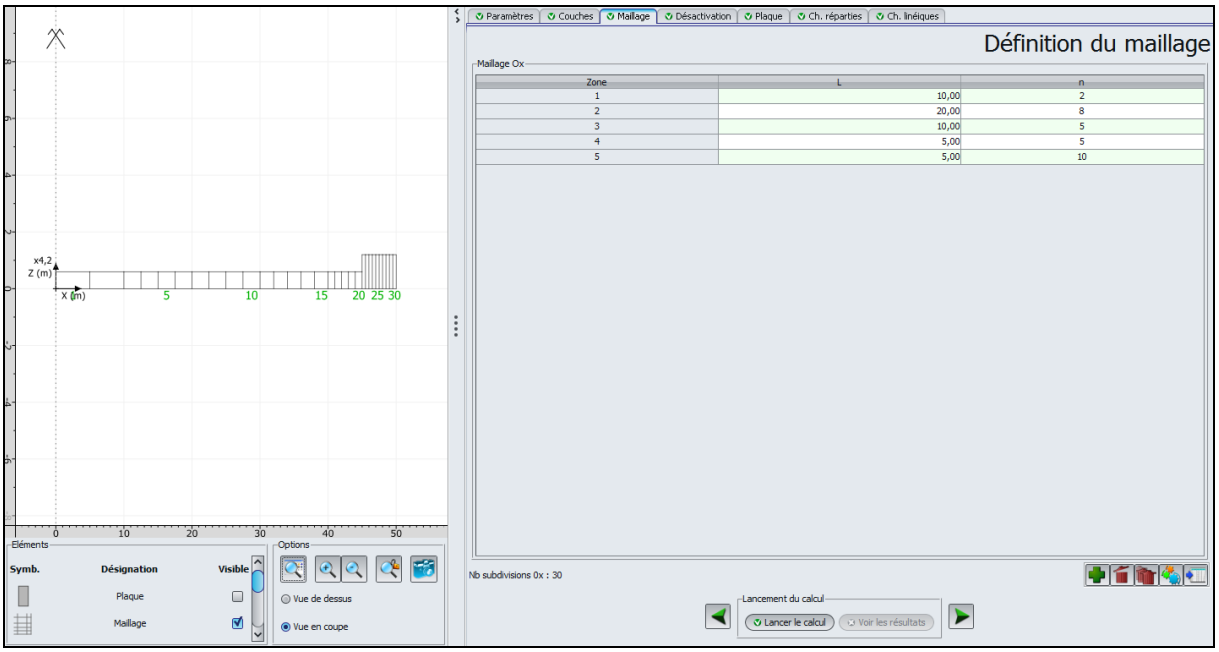
Compléter cet onglet comme indiqué sur l'écran et dans le tableau ci-dessous.



Nom	Z_{base} (m)	E_{sol} (kPa)	ν
Couche 1	-25	60 000	0,33
Couche 2	-100	30 000	0,33

I.4.5.1.3. Onglet "Maillage"

Dans le cas d'un calcul axisymétrique, cet onglet contient un seul cadre :

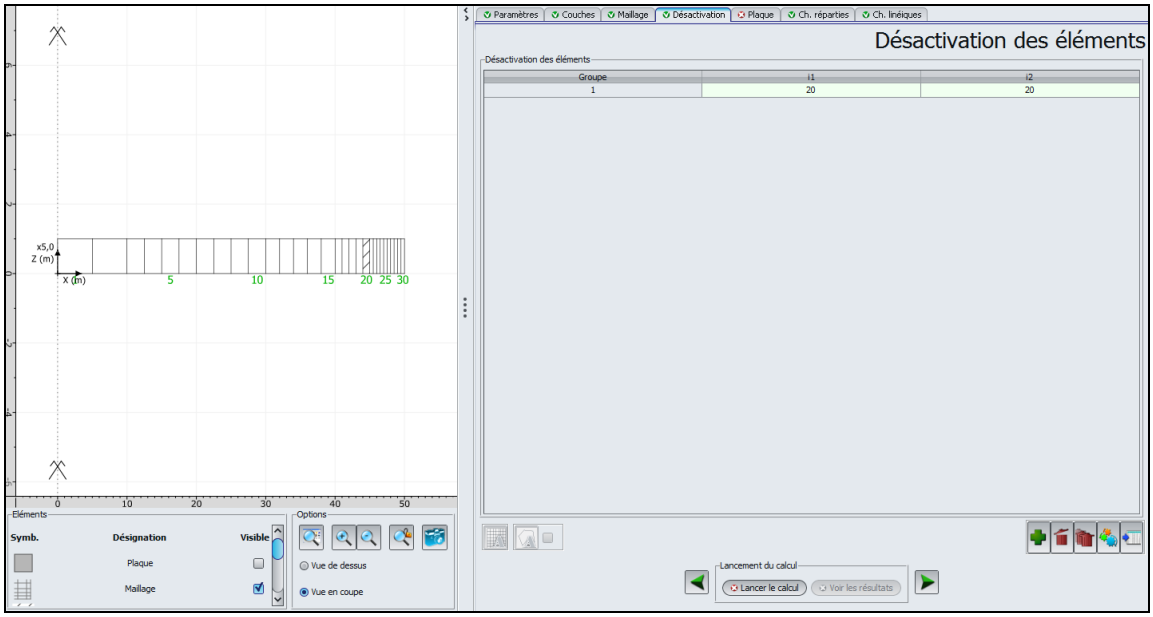


Nous choisissons une discrétisation de la plaque conforme à la géométrie du radier et aux conditions de chargement à introduire.

Zone	L (m)	n		X (m)	Pas (m)
1	10	2		10	5
2	20	8		30	2,5
3	10	5		40	2
4	5	5		45	1
5	5	10		50	0,5

I.4.5.1.4. Onglet "Désactivation"

En phase de construction du radier, le joint assurant la liaison entre la partie centrale et la partie périphérique n'est pas réalisé. On utilise l'option "Désactivation" afin de prendre en compte cette discontinuité. Nous allons désactiver l'élément 20, ayant une largeur de 1 m, entre 44 m et 45 m du centre du radier.



I.4.5.1.5. Onglet "Plaque"

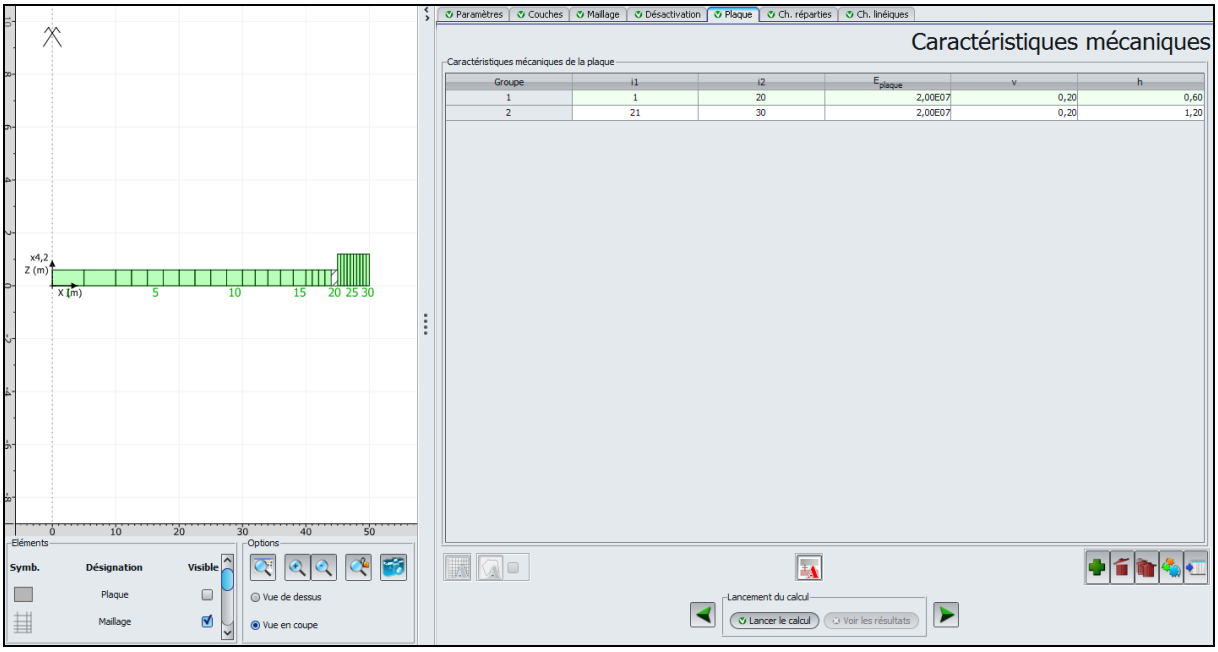
Compte-tenu de la variation d'épaisseur entre la zone centrale et le patin périphérique, on distingue deux groupes différents :

- le numéro selon Ox de l'élément le plus à gauche de la zone (i1) ;
- le numéro selon Ox de l'élément le plus à droite de la zone (i2).

Groupe	i1	i2	E_{plaque} (kPa)	ν	h (m)
1	1	20	2,00E+07	0,20	0,60
2	21	30	2,00E+07	0,20	1,20

*Edition juillet 2013 - **Copyright © Foxta v3 - 2011***

L'onglet est maintenant renseigné :



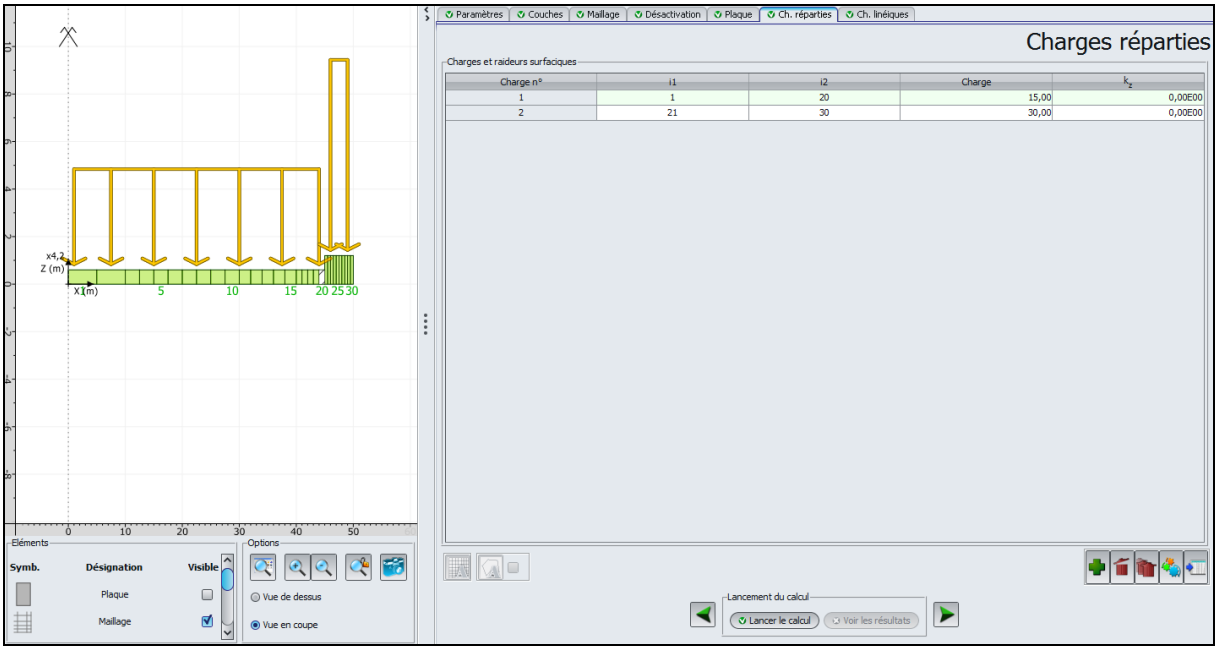
I.4.5.1.6. Onglet "Charges réparties"

En phase de construction le chargement ramené au sol correspond uniquement au poids propre de la structure (radier, voile et dôme).

Le poids propre du radier est bien évidemment directement lié à l'épaisseur de ce dernier. Etant donné l'épaississement du radier en partie périphérique, la charge appliquée varie selon la zone étudiée :

- Charge en partie centrale : 15 kPa ;
- Charge en périphérie : 30 kPa.

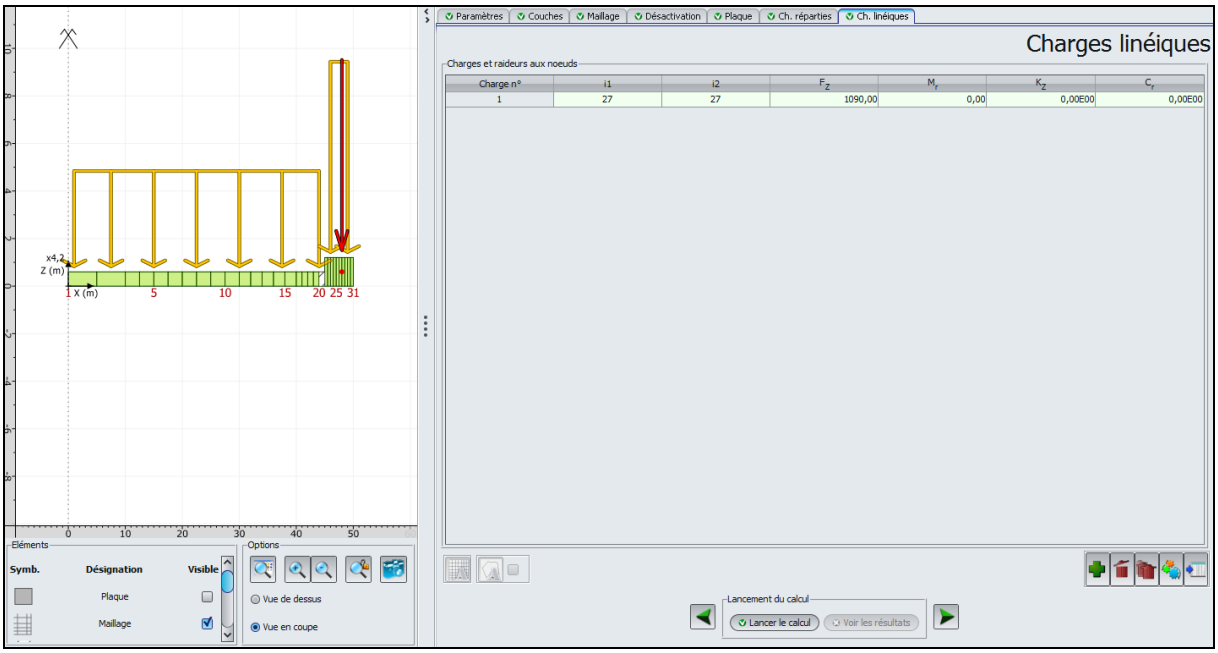
On définit ainsi une charge pour la plaque n°1 et une charge pour la plaque n°2 :



Charge N°	i1	i2	Charge (kPa)	k_z (kPa/m)
1	1	20	15	0
2	21	30	30	0

I.4.5.1.7. "Onglet Charges linéiques"

La charge liée au poids propre de la superstructure (voile et dôme) est transmise au radier par le voile périphérique. Au droit de l'axe de ce dernier une charge linéique de 1090 kN/ml doit être introduite. L'axe du voile se situe à x = 48 m du centre du radier, correspondant au nœud n° 27 du maillage.



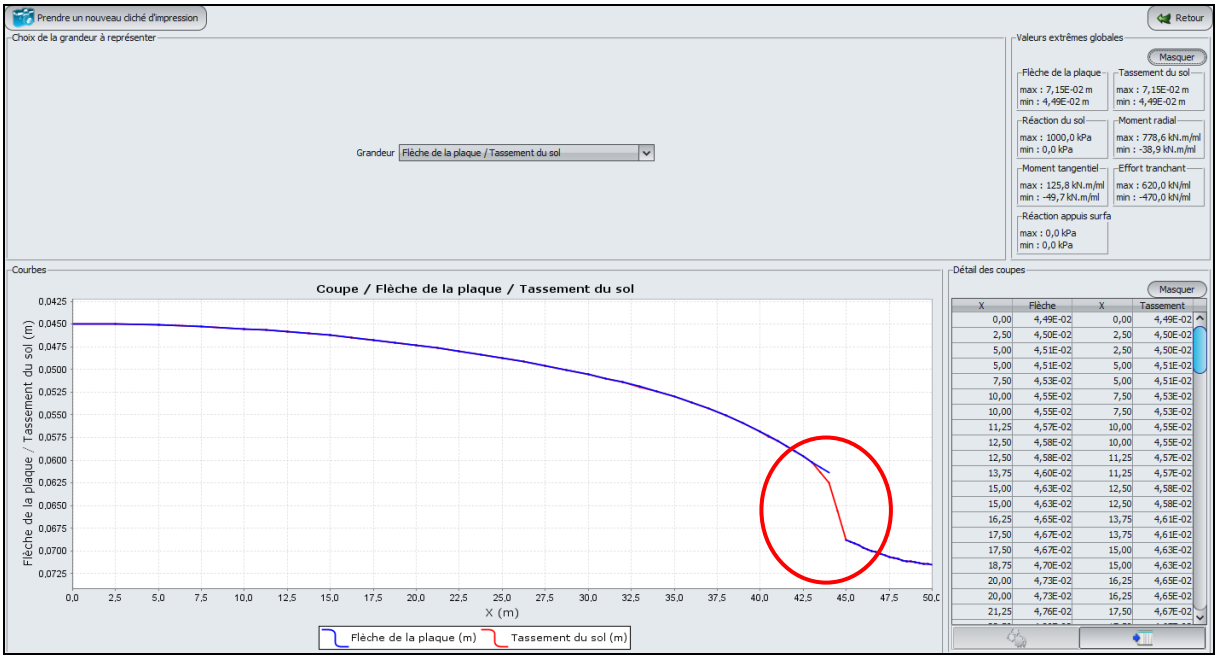
Charge N°	i1	i2	F_z (kN/ml)	M_r (Kn.m/ml)	K_z (kN/m/ml)	C_r (kN.m/rad/ml)
1	27	27	1090	0	0	0

I.4.5.2. Résultats graphiques - Coupes

Flèche de la plaque :

En utilisant la liste déroulante située au milieu du cadre, nous allons visualiser les résultats de flèche et de tassement.

Les résultats font observer une zone de décollement localisé, au voisinage du joint de clavage.



<u>Tassement du sol</u> :

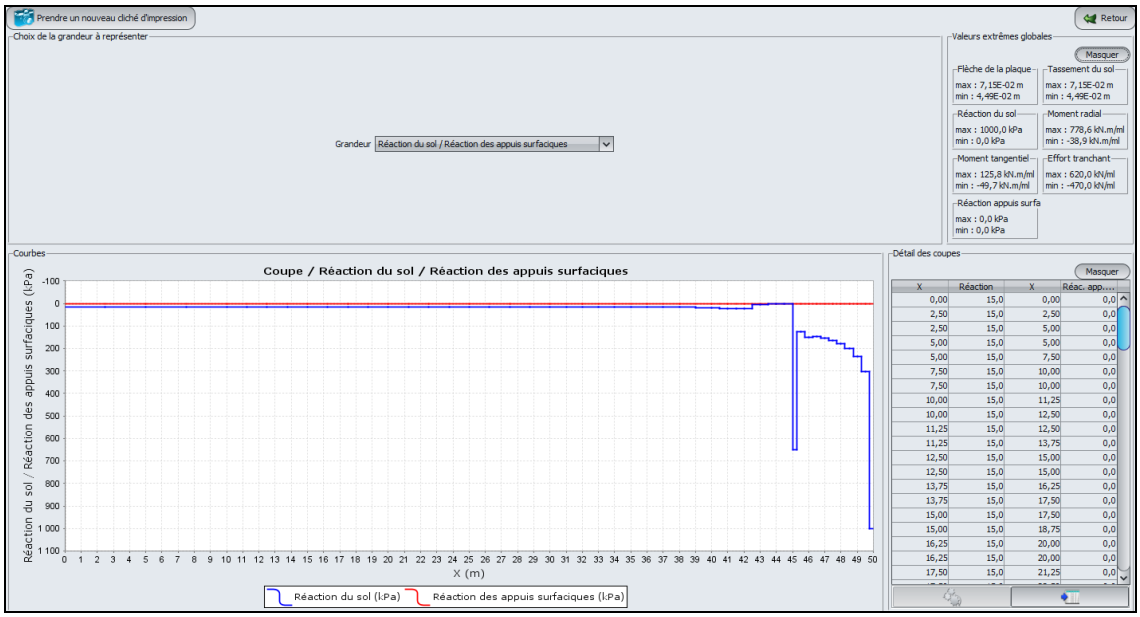
Valeurs extrêmes globales :

- Max : 7,15E-02 m (soit 7,2 cm)
- Min : 4,49E-02 m (soit 4,5 cm)

La lecture du diagramme de flèche obtenu de part et d'autre du joint permet de calculer la valeur de la contre-flèche à anticiper afin de faciliter le coffrage-bétonnage lors du clavage en phase ultérieure. La contre-flèche est d'ordre millimétrique dans le cas étudié.

<u>Réaction du sol/Réaction des appuis surfaciques</u> :

En utilisant la liste déroulante située au milieu du cadre, nous allons passer aux résultats de réactions.

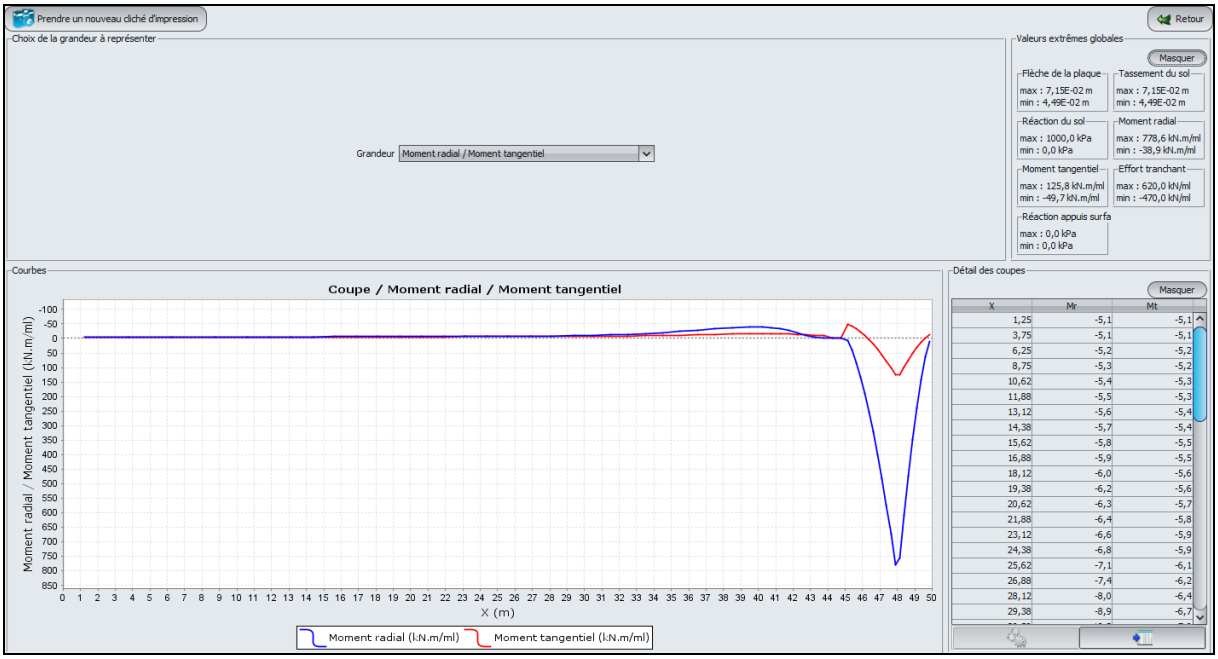


Les résultats obtenus illustrent un effet de bord se traduisant par des pics de réaction aux deux extrémités du patin. Ces pics seront d'autant plus importants que le radier est rigide. En partie centrale, la réaction de sol est quasi-constante et vaut 15 kPa, soit la charge appliquée en surface de la plaque.

Notons qu'au bord du réservoir la réaction obtenue vaut 1000 kPa (valeur maximale fixée par hypothèse), ce qui est synonyme d'une plastification localisée dans cette zone.

Moment radial / Moment tangentiel :

Enfin, nous pouvons afficher les diagrammes de moment radial et tangentiel.



Le moment radial s'avère prépondérant. Les valeurs extrêmes globales obtenues sont les suivantes :

Moment radial :

- Max = 779 kN.m/ml
- Min = -39 kN.m/ml

Moment tangentiel :

- Max = 126 kN.m/ml
- Min = -50 kN.m/ml

*Edition juillet 2013 - **Copyright © Foxta v3 - 2011***

I.4.5.3. Phase "hydrotest"

On propose à ce stade, d'effectuer le même exercice pour la phase de remplissage maximal du réservoir (hydrotest).

Enregistrer votre fichier sous le nom "Réservoir circulaire2" par exemple.

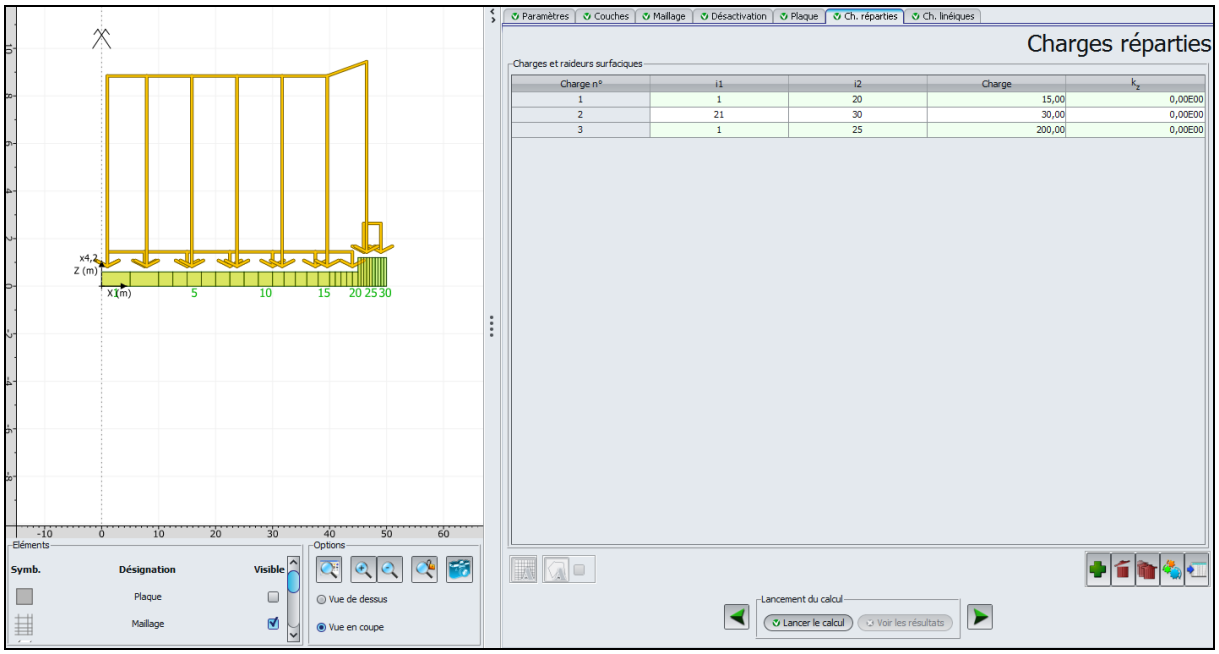
I.4.5.3.1. Onglet "Désactivation"

En phase d'hydrotest, le clavage sera déjà réalisé et donc le joint entre la partie centrale et la zone périphérique sera rempli. Aucun groupe ne doit donc être désactivé.

- Sélectionner la ligne puis cliquer sur le bouton "Supprimer" .

I.4.5.3.2. Onglet "Charges réparties"

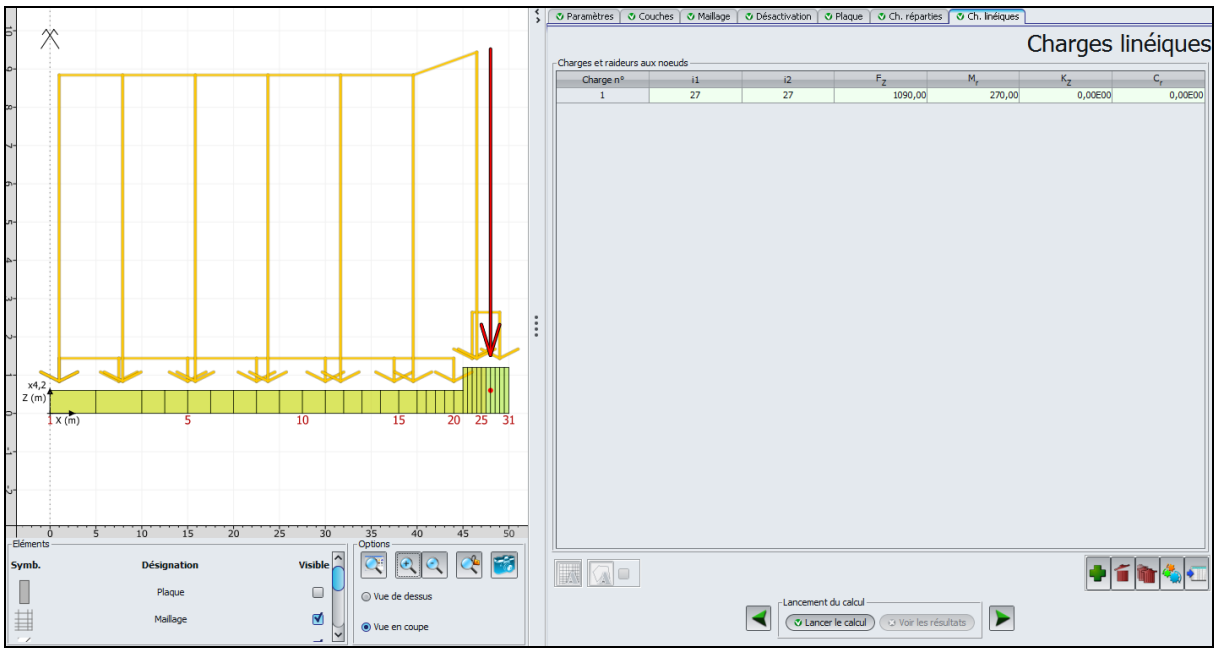
Ajouter une troisième charge de 200 kPa, correspondant au chargement à l'hydrotest entre les blocs 1 et 25 (intérieur du réservoir).



Charge N°	i1	i2	Charge (kPa)	k_z (kPa/m)
1	1	20	15	0
2	21	30	30	0
3	**1**	**25**	**200**	**0**

I.4.5.3.3. Onglet "Charges linéiques"

Lors du remplissage du réservoir, une pression hydrostatique s'applique contre la face intérieure du voile périphérique. Ce chargement conduit au développement d'un moment fléchissant qui est transmis à la base du voile, au niveau de la jonction avec le patin. Cette action sera prise en compte en introduisant un moment linéique radial, appliqué sur le nœud 27 (x = 48 m). La valeur à appliquer est M_r = 270 kN.m/ml.

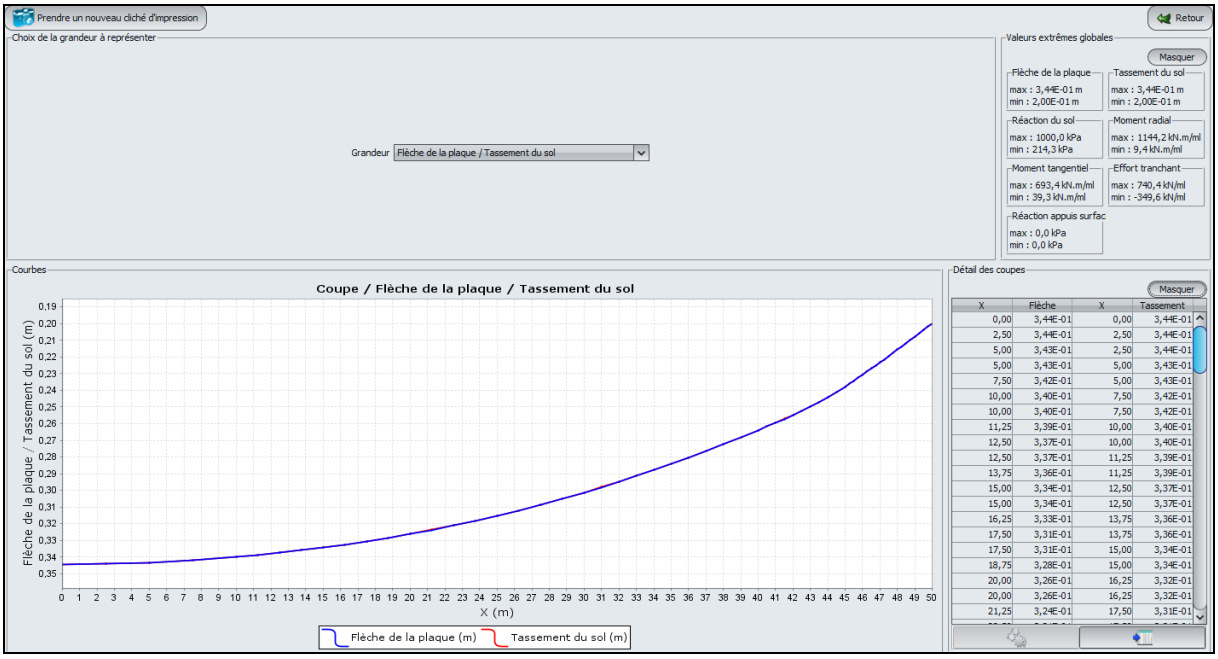


Charge N°	i1	i2	F_z (kN/ml)	Mr (kN.m/ml)	K_z (kN/m/ml)	C_r (kN.m/rad/ml)
1	27	27	1090	270	0	0

I.4.5.3.4. Résultats graphiques - Coupes

Flèche de la plaque/Tassement du sol :

En utilisant la liste déroulante située au milieu du cadre, nous allons visualiser les résultats flèche-tassement.



Les valeurs sont strictement identiques pour la flèche et pour le tassement, on peut en déduire qu'il n'y a pas de décollement. On résume ci-dessous les valeurs extrêmes globales (flèche et tassement du sol) :

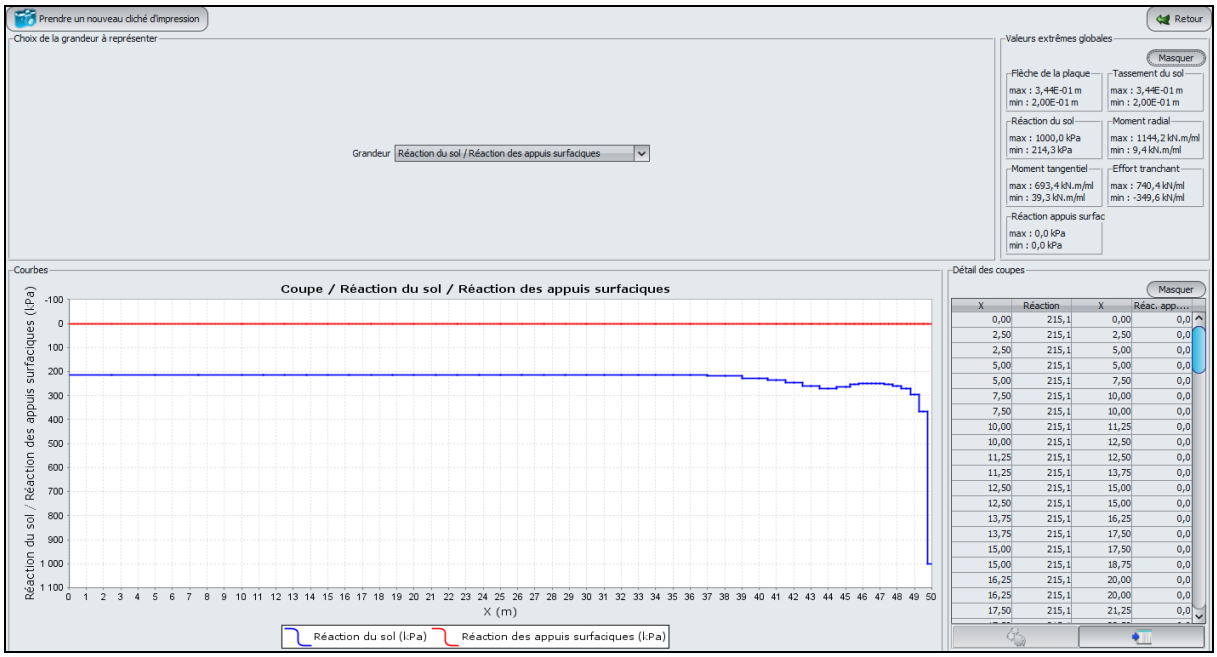
- Max : 3,44E-01 m (soit 34,4 cm)
- Min : 2,00E-01 m (soit 20,0 cm)

*Edition juillet 2013 - **Copyright © Foxta v3 - 2011***

On en déduit un tassement différentiel entre le centre et le bord du réservoir de l'ordre de 15 cm.

Réaction du sol / Réaction des appuis surfaciques :

En utilisant la liste déroulante située au milieu du cadre, nous allons passer aux résultats de réactions.



On constate que la réaction du sol a une valeur quasiment constante (de l'ordre de 215 kPa) sous la partie centrale. Les effets de bord à l'extrémité du patin conduisent à un pic de réaction, plafonné à 1000 kPa par hypothèse.

Les valeurs extrêmes globales obtenues sont données ci-après.
Réaction du sol :

- Max = 1000 kPa
- Min = 214 kPa

Réaction des appuis surfaciques : sans objet

Moment radial et moment tangentiel :

Enfin, nous affichons les diagrammes de moment radial et tangentiel.

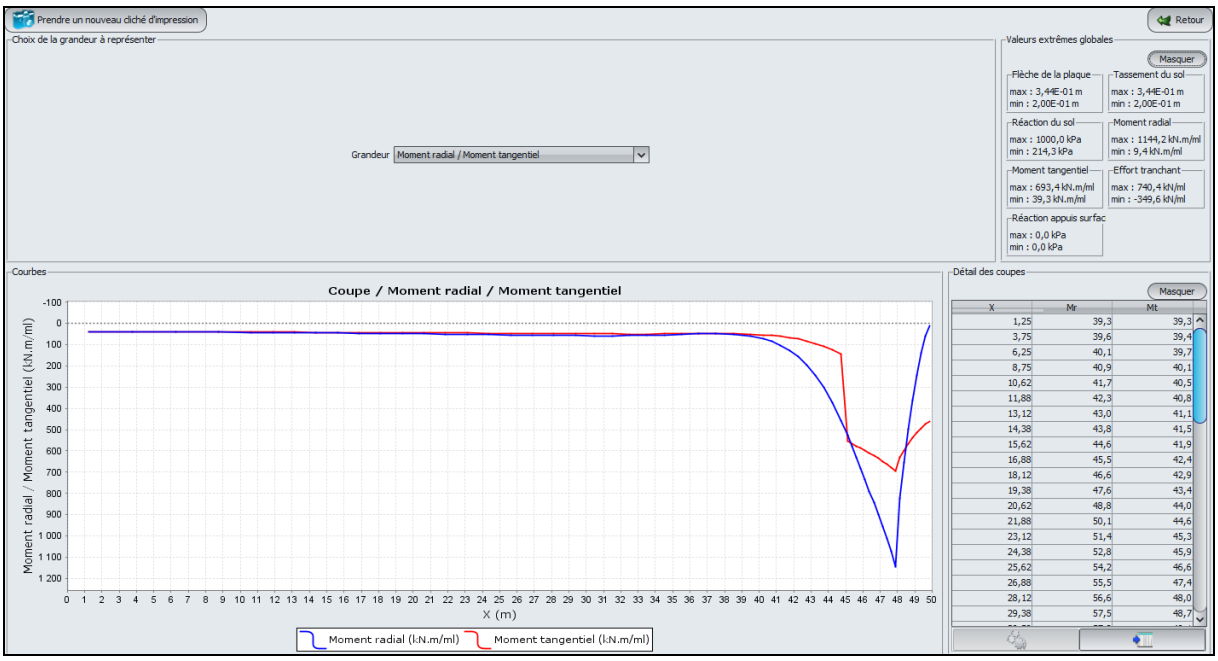
Les valeurs extrêmes globales sont les suivantes :

Moment radial :

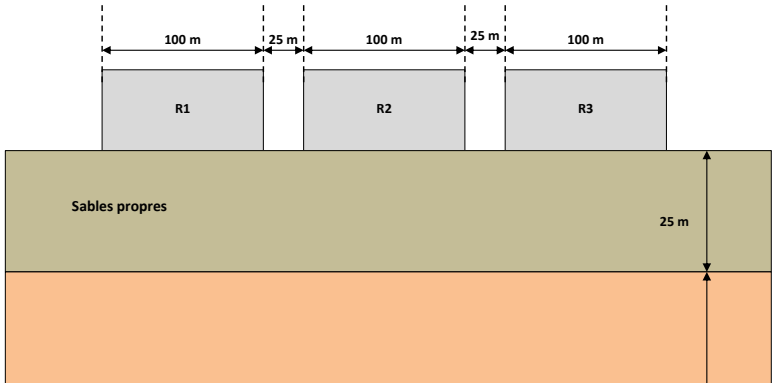
- Max = 1144 kN.m/ml
- Min = 9 kN.m/ml

Moment tangentiel :

- Max = 693 kN.m/ml
- Min = 39 kN.m/ml



Cet exemple pourrait être généralisé par exemple au calcul de tassements sous plusieurs réservoirs voisins, avec prise en compte de l'interaction entre les différents réservoirs en exportant les pressions d'interaction vers le module Tasseldo.

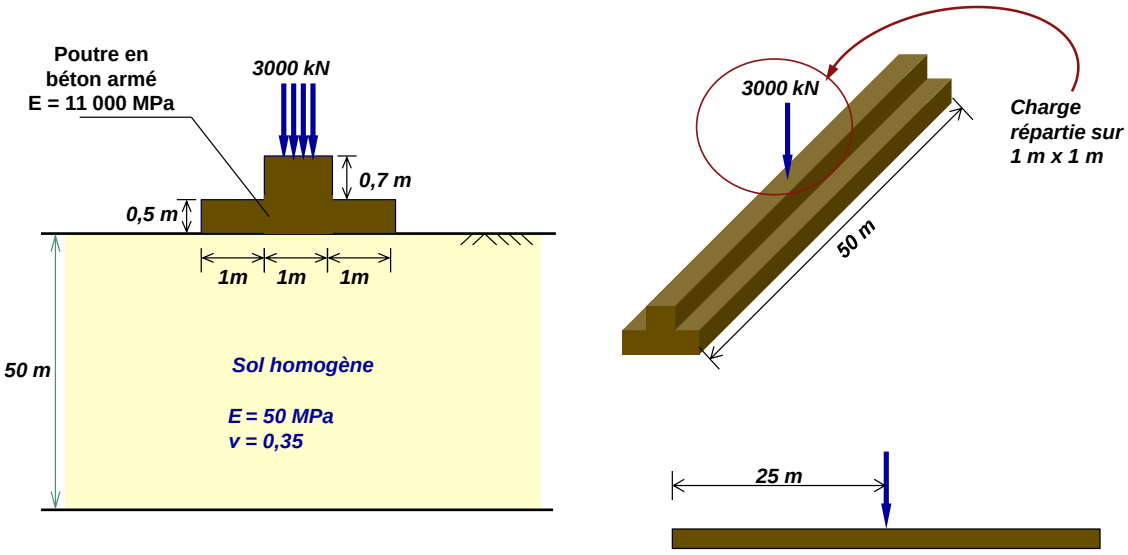


I.4.6. Exemple 6 : Poutre de roulement et calage du coefficient de réaction

I.4.6.1. Etape 1 : Semelle chargée localement avec prise en compte du poids propre

On étudie ici le cas d'une semelle de 50 m de longueur et de 3 m de largeur, soumise à une charge de 3000 kN exercée sur la poutre centrale . La semelle repose sur un massif élastique homogène.

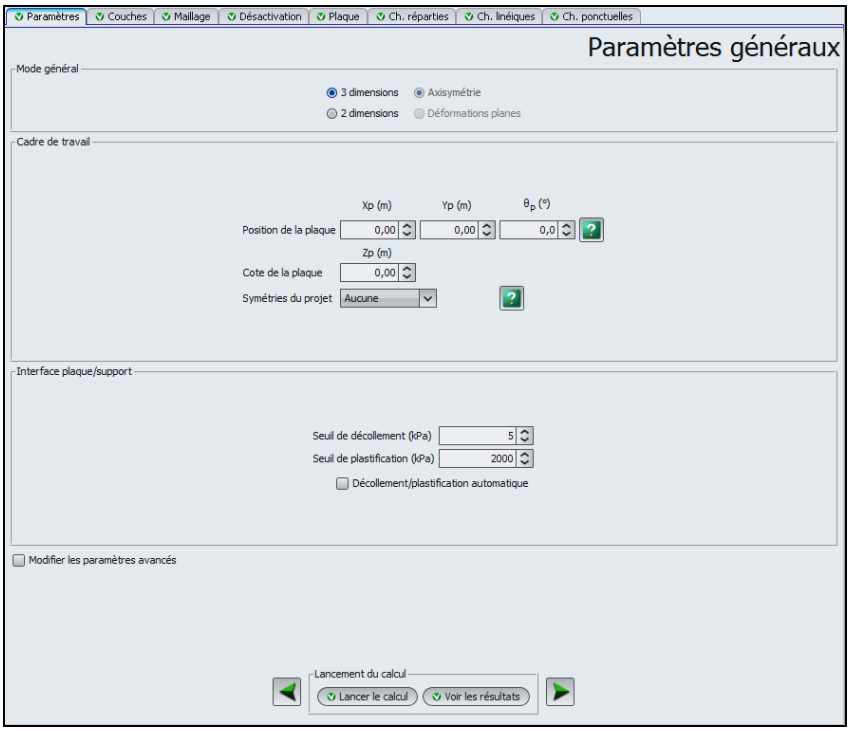
Les données du problème sont détaillées sur la figure ci-dessous :



Créer un nouveau projet Foxta v3 et sélectionner le module TASPLAQ.

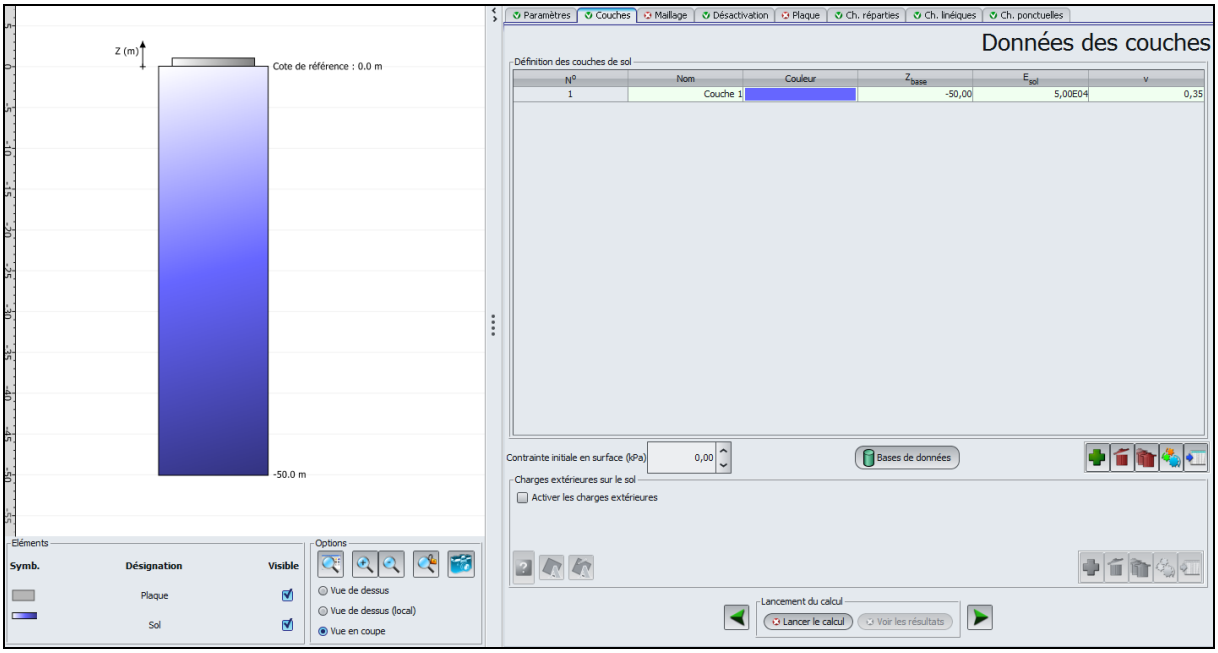
I.4.6.1.1. Onglet "Paramètres"

Compléter les données conformément à l'écran ci-dessous (on conserve ici les choix proposés par défaut).



I.4.6.1.2. Onglet "Couches"

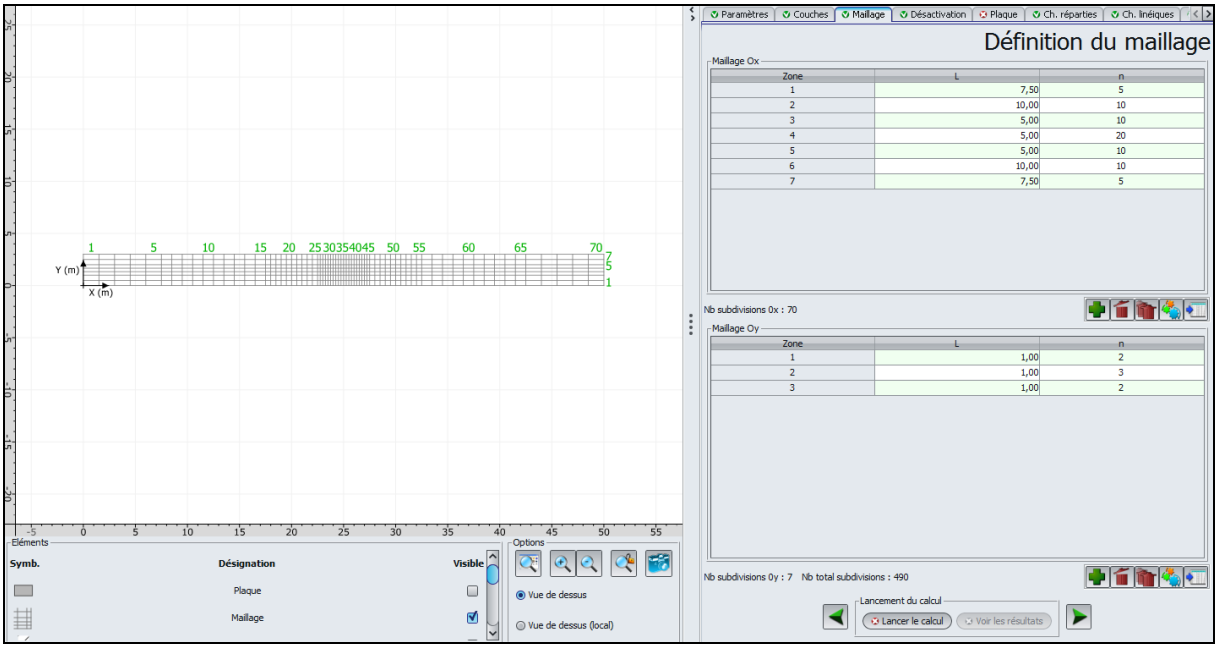
Compléter les données conformément à l'écran et au tableau ci-dessous.



Nom	Z_{base} (m)	E_{sol} (kPa)	ν
Couche1	-50	5,00E04	0,35

I.4.6.1.3. Onglet "Maillage"

On choisit ici de raffiner le maillage sous et autour de la zone chargée.



*Edition juillet 2013 - **Copyright © Foxta v3 - 2011***

Cadre "Maillage Ox" :

Zone	L (m)	n
1	7,5	5
2	10,0	10
3	5,0	10
4	5,0	20
5	5,0	10
6	10,0	10
7	7,5	5

Cadre "Maillage Oy" :

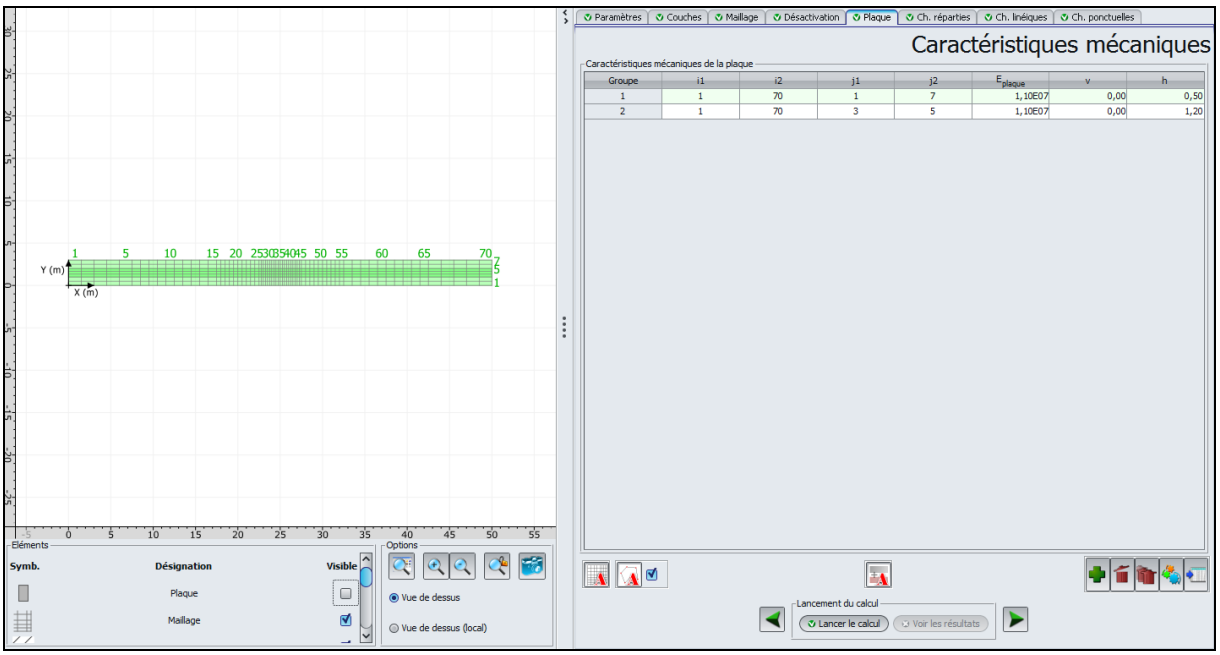
Zone	L (m)	n
1	1,0	2
2	1,0	3
3	1,0	2

I.4.6.1.4. Onglet "Désactivation"

Dans cet exemple, il n'y a pas d'élément à désactiver, la plaque est pleine et continue. Le cadre "Désactivation des éléments" est laissé vide.

I.4.6.1.5. Onglet "Plaque"

Plusieurs solutions sont possibles pour définir les caractéristiques mécaniques de la semelle en fonction des zones. La plus intuitive consiste ici à distinguer deux zones : on définit d'abord les caractéristiques de la plaque "fine", que l'on attribue à la plaque entière ; puis on écrase (remplace) ces caractéristiques dans la partie renforcée par celles de la zone centrale de la poutre 'plaque "épaisse").



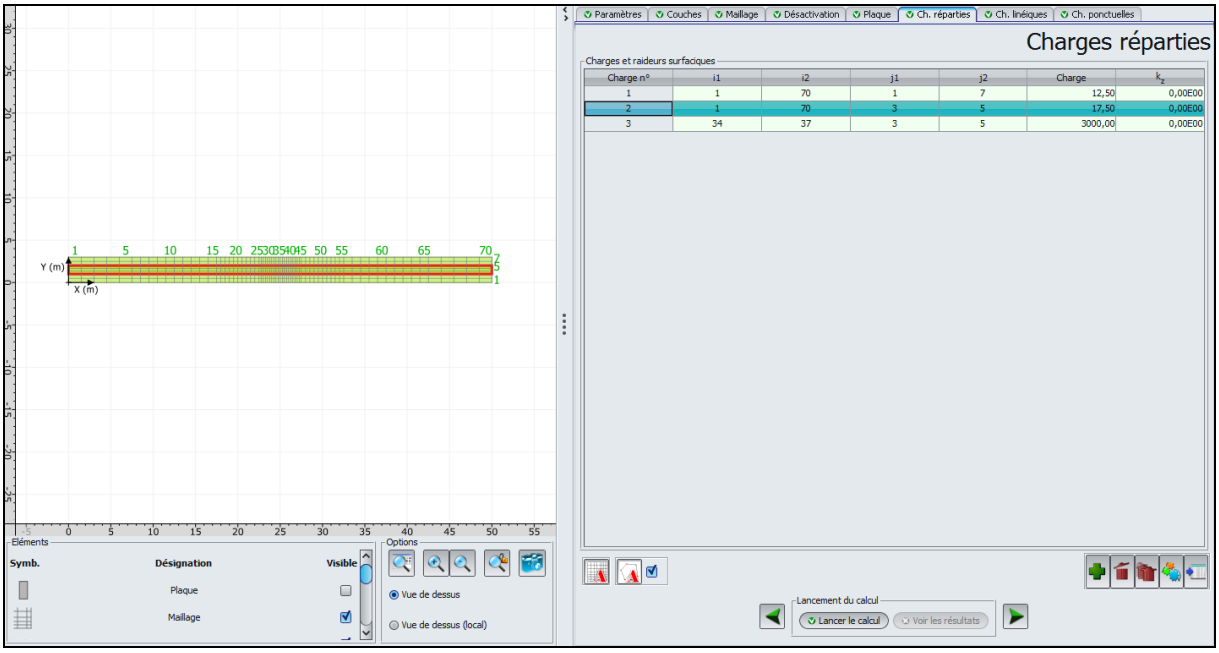
Groupe	i1	i2	j1	j2	E_{plaque} (kPa)	ν	h (m)
1	1	70	1	7	1,10E+07	0,00	0,5
2	1	70	3	5	1,10E+07	0,00	1,2

I.4.6.1.6. Onglet "Charges Réparties"

Le poids propre de la poutre est à prendre en compte.

Trois zones de chargement sont à définir :

- la charge de 12,50 kPa, à affecter au groupe d'éléments i1 = 1 à i2 = 70 selon Ox ; j1 = 1 à j2 = 7 selon Oy (poids propre de la poutre de 0,5 m d'épaisseur, appliqué à l'ensemble de la plaque) ;
- la charge de 17,50 kPa, à affecter au groupe d'éléments i1= 1 à i2 = 70 selon Ox et j1 = 3 à j2 = 5 selon Oy (supplément de poids propre dans la zone centrale, correspondant au supplément d'épaisseur de 0,7 m) ;
- la charge de 3000 kPa à affecter au groupe d'éléments i1 = 34 à i2 = 37 selon Ox ; j1 = 3 à j2 = 5 selon Oy (zone chargée de 1 m par 1 m, cf schéma au début de l'exemple).



N°	i1	i2	j1	j2	Charge (kPa)	k_z (kPa/m)
1	1	70	1	7	12,5	0
2	1	70	3	5	17,5	0
3	34	37	3	5	3000	0

I.4.6.1.7. Onglet "Charges linéiques"

Il n'y a pas de charge linéique dans cet exemple.

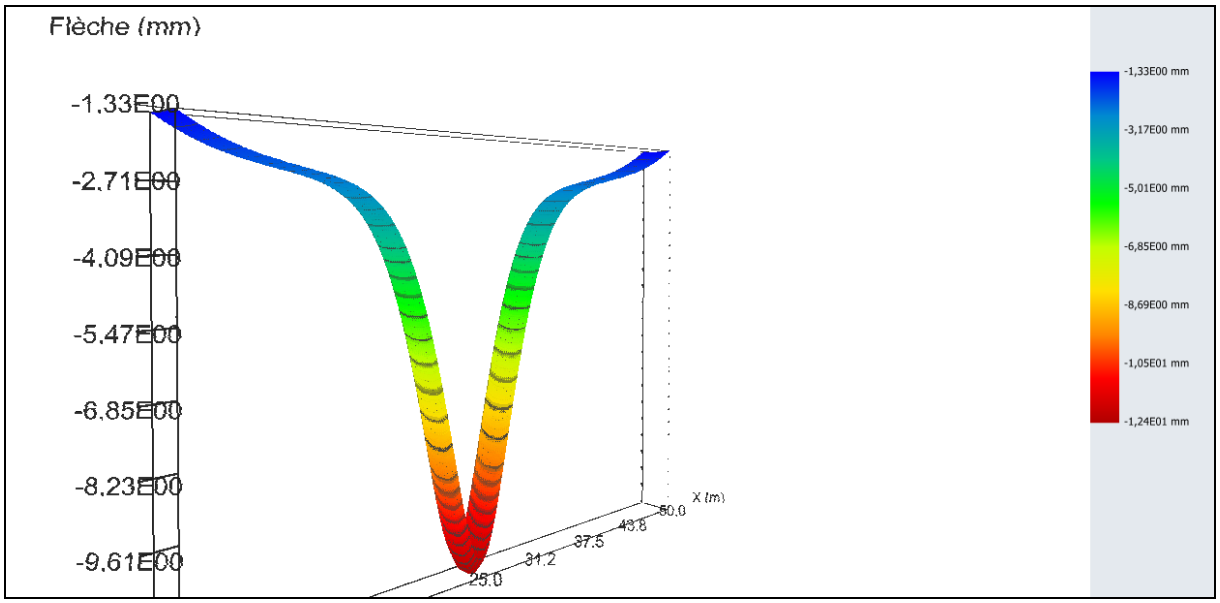
I.4.6.1.8. Onglet "Charges ponctuelles"

Il n'y a pas de charge ponctuelle dans cet exemple.

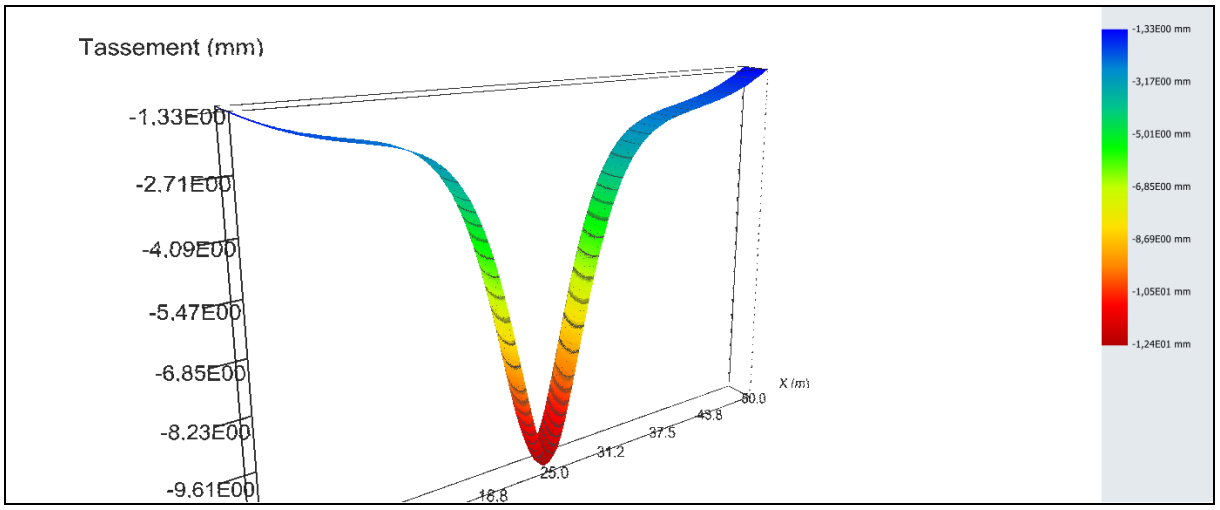
I.4.6.2. Résultats

I.4.6.2.1. Résultats graphiques 3D

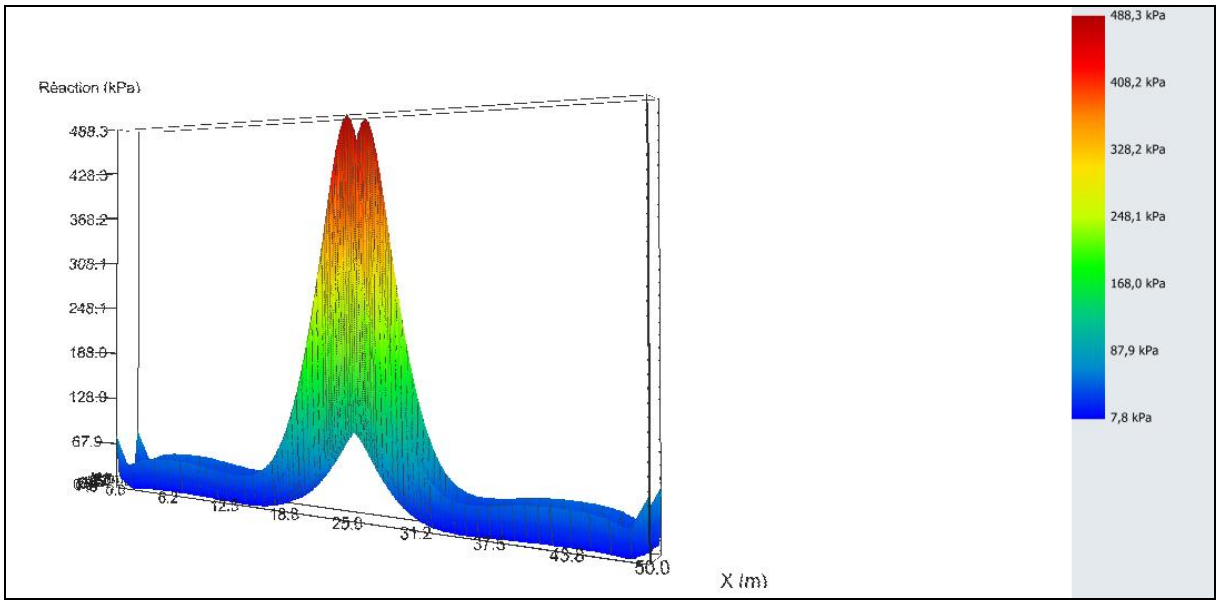
Flèche de la plaque



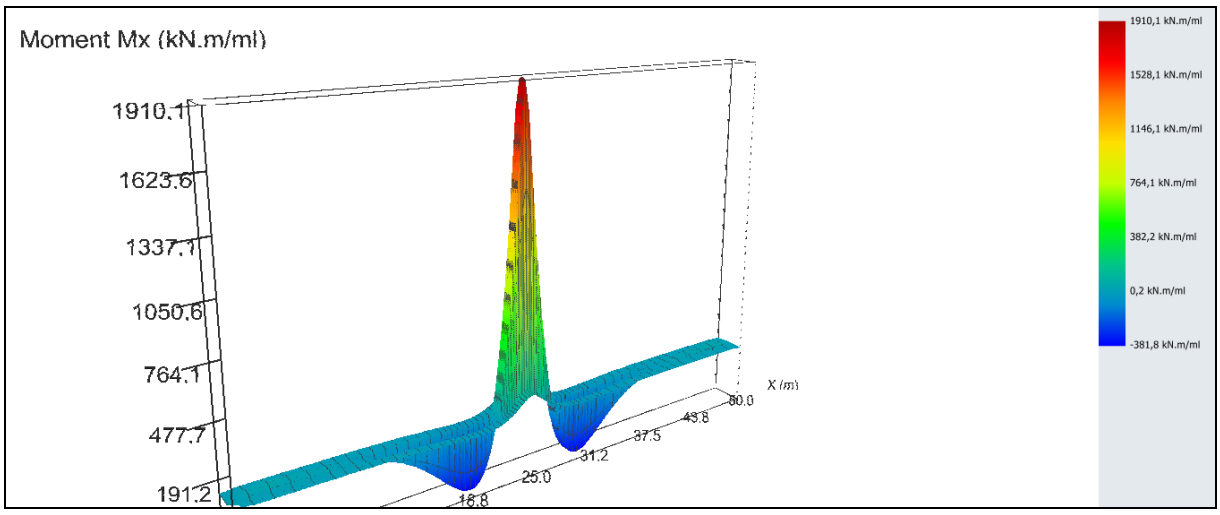
Tassement du sol (mm)



Réaction du sol (kPa)



Moment M_x (kN.m/ml)



La représentation 3D du moment fléchissant M_x montre que celui-ci est repris principalement par la poutre centrale.

I.4.6.2.2. Résultats graphiques - Coupes

Moment M_x :

Valeurs extrêmes globales :

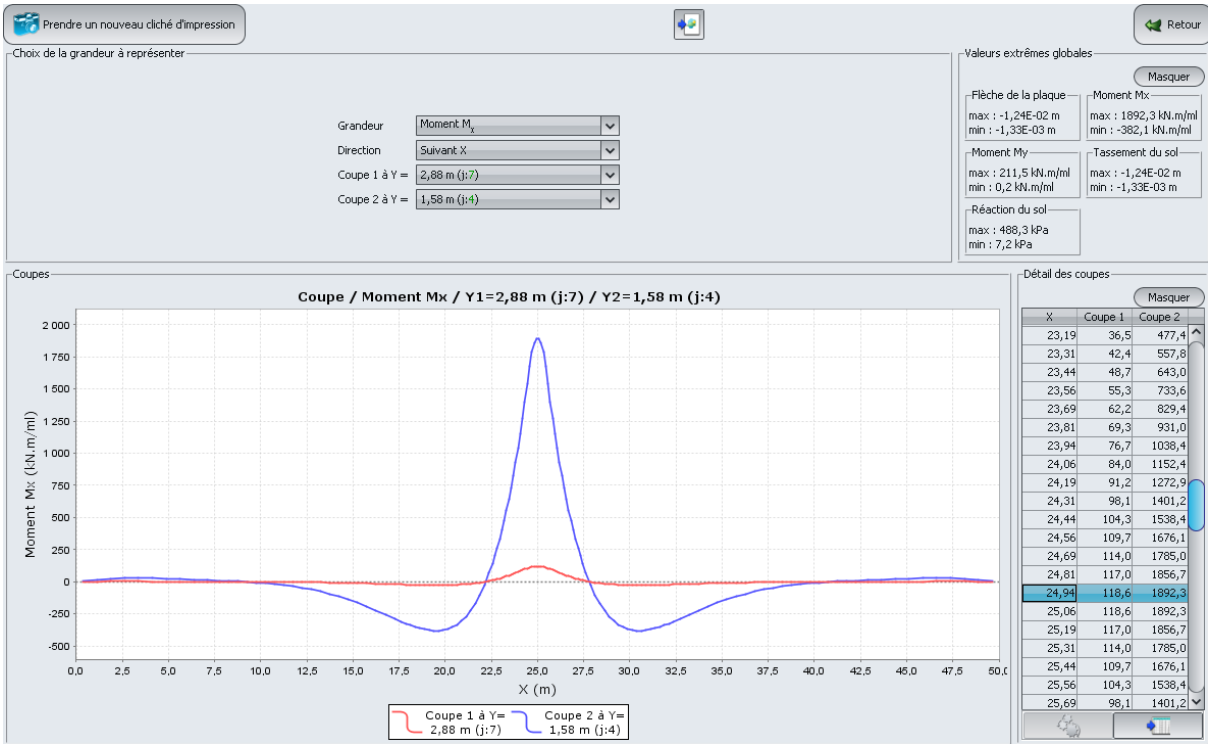
- Max : 1892 kN.m/ml
- Min : -382 kN.m/ml

Coupe graphique suivant X :

Coupe 1 à Y = 2,88 m (j : 7) : à X = 24,94 m M_x = 119 kN.m/ml.

Coupe 2 à Y = 1,58 m (j : 4) : à X = 24,94 m M_x = 1892 kN.m/ml.

*Edition juillet 2013 - **Copyright © Foxta v3 - 2011***



Réaction du sol suivant X

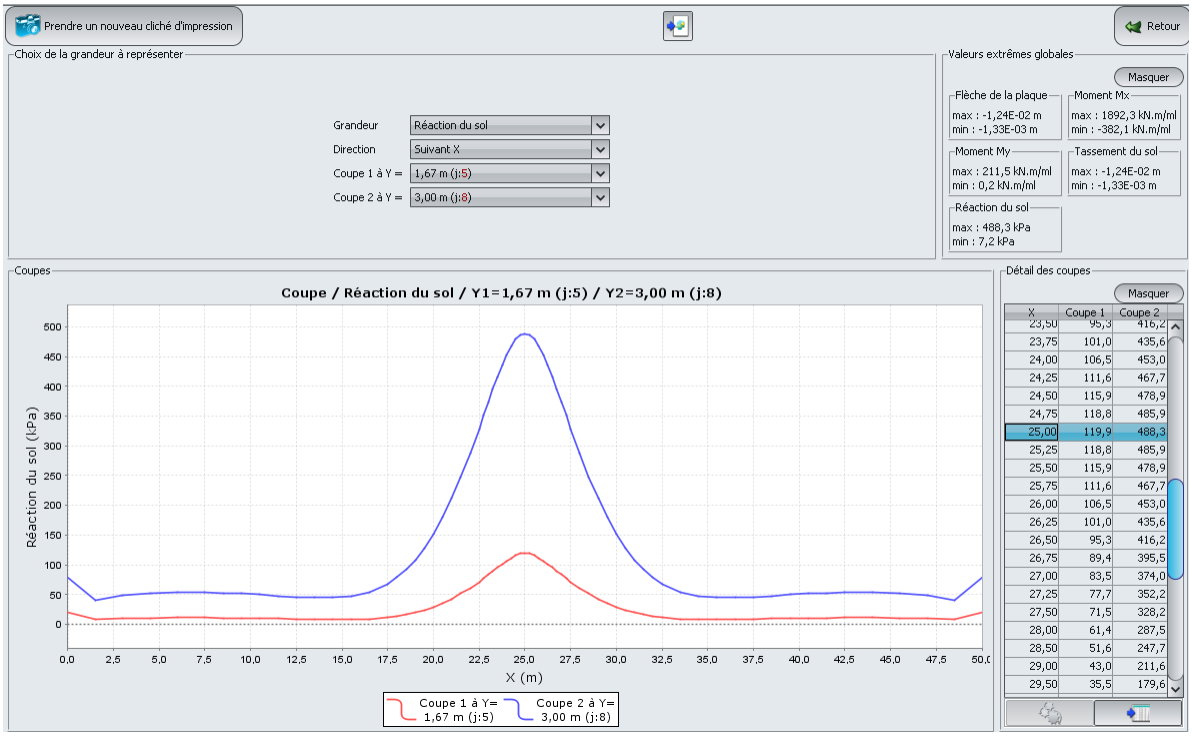
Valeurs extrêmes globales :

- Max : 488 kPa
- Min : 7 kPa

Coupe graphique suivant X :

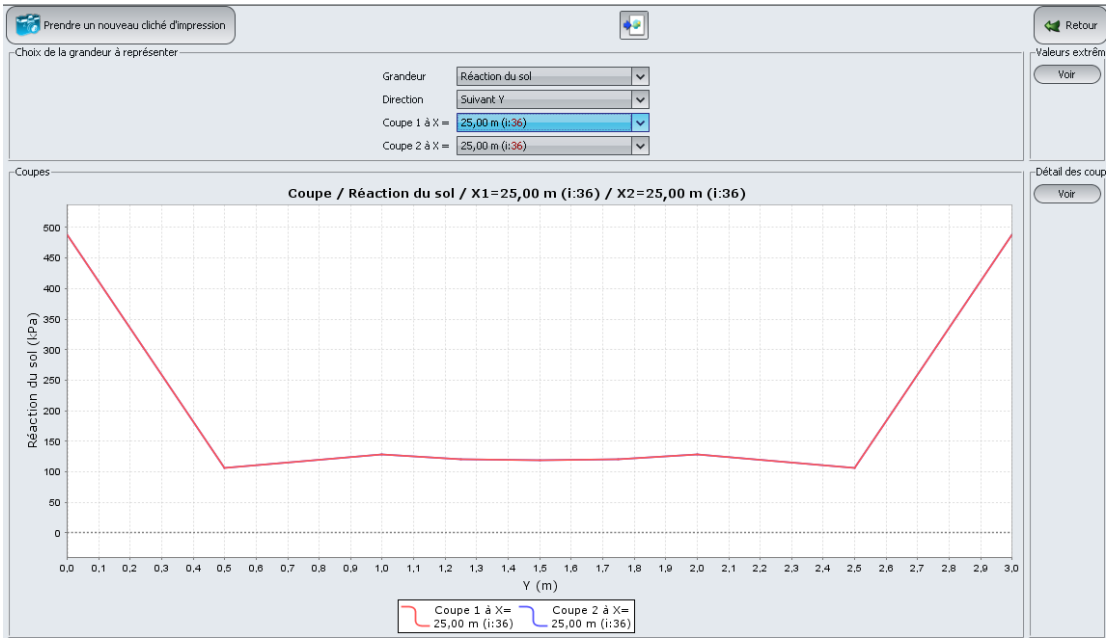
Coupe 1 à Y = 1,67 m (j : 5) : à X = 25,0 m Réaction = 120 kPa.

Coupe 2 à Y = 3,00 m (j : 8) : à X = 25,0 m Réaction = 488 kPa.



Réaction du sol suivant Y

On constate sur la coupe ci-dessus que la réaction du sol est quasiment constante entre Y = 0,5 m et Y = 2,5 m (on voit bien ici l'influence de la discrétisation du maillage selon Y).



I.4.6.2.3. Résultats numériques formatés

Réaction et tassement au centre de la semelle :

REACTION DU SOL ET TASSEMENT SOUS LES NOEUDS (COORDONNEES GLOBALES)

noeud	X	Y	statut	Pression	Tassement	Flèche
001,001	0.000	0.000	***	79.988	0.133234E-02	0.133234E-02
002,001	1.500	0.000	***	40.181	0.158784E-02	0.158784E-02
003,001	3.000	0.000	***	49.039	0.180975E-02	0.180975E-02
004,001	4.500	0.000	***	52.397	0.198536E-02	0.198536E-02
005,001	6.000	0.000	***	53.767	0.212375E-02	0.212375E-02
006,001	7.500	0.000	***	53.680	0.223636E-02	0.223636E-02
007,001	8.500	0.000	***	52.954	0.230297E-02	0.230297E-02
008,001	9.500	0.000	***	51.604	0.236639E-02	0.236639E-02
009,001	10.500	0.000	***	49.927	0.243294E-02	0.243294E-02
010,001	11.500	0.000	***	48.039	0.250948E-02	0.250948E-02
011,001	12.500	0.000	***	46.214	0.260576E-02	0.260576E-02
012,001	13.500	0.000	***	44.947	0.273552E-02	0.273552E-02
013,001	14.500	0.000	***	45.045	0.291772E-02	0.291772E-02
014,001	15.500	0.000	***	47.733	0.317730E-02	0.317730E-02
015,001	16.500	0.000	***	54.754	0.354535E-02	0.354535E-02
024,004	21.500	1.333	***	51.576	0.832465E-02	0.832465E-02
025,004	22.000	1.333	***	61.351	0.907370E-02	0.907370E-02
026,004	22.500	1.333	***	71.537	0.983265E-02	0.983265E-02
027,004	22.750	1.333	***	77.722	0.102070E-01	0.102070E-01
028,004	23.000	1.333	***	83.515	0.105721E-01	0.105721E-01
029,004	23.250	1.333	***	89.402	0.109228E-01	0.109228E-01
030,004	23.500	1.333	***	95.280	0.112530E-01	0.112530E-01
031,004	23.750	1.333	***	101.042	0.115559E-01	0.115559E-01
032,004	24.000	1.333	***	106.548	0.118242E-01	0.118242E-01
033,004	24.250	1.333	***	111.602	0.120491E-01	0.120491E-01
034,004	24.500	1.333	***	115.906	0.122213E-01	0.122213E-01
035,004	24.750	1.333	***	118.850	0.123301E-01	0.123301E-01
036,004	25.000	1.333	***	119.876	0.123673E-01	0.123673E-01
037,004	25.250	1.333	***	118.850	0.123301E-01	0.123301E-01
038,004	25.500	1.333	***	115.906	0.122213E-01	0.122213E-01
039,004	25.750	1.333	***	111.602	0.120491E-01	0.120491E-01
040,004	26.000	1.333	***	106.548	0.118242E-01	0.118242E-01
041,004	26.250	1.333	***	101.042	0.115559E-01	0.115559E-01
042,004	26.500	1.333	***	95.280	0.112530E-01	0.112530E-01
043,004	26.750	1.333	***	89.402	0.109228E-01	0.109228E-01
044,004	27.000	1.333	***	83.515	0.105721E-01	0.105721E-01
045,004	27.250	1.333	***	77.722	0.102070E-01	0.102070E-01
046,004	27.500	1.333	***	71.537	0.983265E-02	0.983265E-02
047,004	28.000	1.333	***	61.351	0.907370E-02	0.907370E-02
048,004	28.500	1.333	***	51.576	0.832465E-02	0.832465E-02
049,004	29.000	1.333	***	42.974	0.760671E-02	0.760671E-02
050,004	29.500	1.333	***	35.533	0.693423E-02	0.693423E-02
051,004	30.000	1.333	***	29.227	0.631610E-02	0.631610E-02
052,004	30.500	1.333	***	23.985	0.575686E-02	0.575686E-02
053,004	31.000	1.333	***	19.714	0.525781E-02	0.525781E-02
054,004	31.500	1.333	***	16.303	0.481783E-02	0.481783E-02
055,004	32.000	1.333	***	13.651	0.443407E-02	0.443407E-02
056,004	32.500	1.333	***	11.467	0.410261E-02	0.410261E-02
057,004	33.500	1.333	***	9.135	0.357739E-02	0.357739E-02
058,004	34.500	1.333	***	8.089	0.320244E-02	0.320244E-02
059,004	35.500	1.333	***	7.946	0.293983E-02	0.293983E-02
060,004	36.500	1.333	***	8.289	0.275690E-02	0.275690E-02
061,004	37.500	1.333	***	8.846	0.262766E-02	0.262766E-02
062,004	38.500	1.333	***	9.452	0.253247E-02	0.253247E-02
063,004	39.500	1.333	***	10.014	0.245712E-02	0.245712E-02
064,004	40.500	1.333	***	10.485	0.239157E-02	0.239157E-02

*Edition juillet 2013 - **Copyright © Foxta v3 - 2011***

Moment maximal :

Moments Fléchissants & Moment de Torsion (COORDONNEES LOCALES)

	Xm	Ym	Mx	My	Mxy
	40.750	2.625	-0.166	2.367	0.079
	40.750	2.875	-0.191	0.425	0.089
	41.250	2.625	0.137	2.405	0.069
	41.250	2.875	0.152	0.430	0.079
	41.750	2.625	0.494	2.437	0.000
	41.750	2.875	0.476	0.435	0.008
	42.250	2.625	1.030	2.465	0.274
	42.250	2.875	1.322	0.441	0.283
	42.875	2.625	0.627	2.489	0.190
	42.875	2.875	0.385	0.446	0.194
	43.625	2.625	1.215	2.510	-0.162
	43.625	2.875	1.222	0.451	-0.158
	44.375	2.625	1.567	2.489	-0.106
	44.375	2.875	1.536	0.447	-0.119
	45.125	2.625	1.780	2.426	-0.171
	45.125	2.875	1.769	0.436	-0.184
	45.875	2.625	2.061	2.380	-0.223
	45.875	2.875	2.048	0.431	-0.227
	46.625	2.625	2.152	2.349	-0.185
	46.625	2.875	2.189	0.434	-0.190
	47.375	2.625	2.341	2.406	-0.003
	47.375	2.875	2.439	0.493	0.041
	48.125	2.625	2.554	2.550	0.356
	48.125	2.875	2.695	0.609	0.399
	48.875	2.625	1.173	2.551	1.328
	48.875	2.875	1.343	0.514	1.254
	49.625	2.625	-1.465	2.409	0.121
	49.625	2.875	-2.439	0.209	0.046
MxMax+	24.938	1.583	1892.323		
MxMax-	30.375	1.583	-382.096		
MyMax+	24.938	1.583		211.516	
MyMax-	49.625	2.875		0.209	
MxyMax+	24.312	1.917			28.772
MxyMax-	25.688	1.917			-28.772

Tassement du sol :

REACTION DU SOL ET TASSEMENT SOUS LES NOEUDS (COORDONNEES GLOBALES)

noeud	X	Y	statut	Pression	Tassement	Flèche
045,008	27.250	3.000	***	352.202	0.995250E-02	0.995250E-02
046,008	27.500	3.000	***	328.215	0.959439E-02	0.959439E-02
047,008	28.000	3.000	***	287.492	0.886637E-02	0.886637E-02
048,008	28.500	3.000	***	247.651	0.814663E-02	0.814663E-02
049,008	29.000	3.000	***	211.572	0.745529E-02	0.745529E-02
050,008	29.500	3.000	***	179.567	0.680645E-02	0.680645E-02
051,008	30.000	3.000	***	151.774	0.620900E-02	0.620900E-02
052,008	30.500	3.000	***	128.104	0.566762E-02	0.566762E-02
053,008	31.000	3.000	***	108.320	0.518377E-02	0.518377E-02
054,008	31.500	3.000	***	92.094	0.475653E-02	0.475653E-02
055,008	32.000	3.000	***	79.065	0.438316E-02	0.438316E-02
056,008	32.500	3.000	***	67.935	0.405935E-02	0.405935E-02
057,008	33.500	3.000	***	54.754	0.354535E-02	0.354535E-02
058,008	34.500	3.000	***	47.733	0.317730E-02	0.317730E-02
059,008	35.500	3.000	***	45.045	0.291772E-02	0.291772E-02
060,008	36.500	3.000	***	44.947	0.273552E-02	0.273552E-02
061,008	37.500	3.000	***	46.214	0.260576E-02	0.260576E-02
062,008	38.500	3.000	***	48.039	0.250948E-02	0.250948E-02
063,008	39.500	3.000	***	49.927	0.243294E-02	0.243294E-02
064,008	40.500	3.000	***	51.604	0.236639E-02	0.236639E-02
065,008	41.500	3.000	***	52.954	0.230297E-02	0.230297E-02
066,008	42.500	3.000	***	53.680	0.223636E-02	0.223636E-02
067,008	44.000	3.000	***	53.767	0.212375E-02	0.212375E-02
068,008	45.500	3.000	***	52.397	0.198536E-02	0.198536E-02
069,008	47.000	3.000	***	49.039	0.180975E-02	0.180975E-02
070,008	48.500	3.000	***	40.181	0.158784E-02	0.158784E-02
071,008	50.000	3.000	***	79.988	0.133234E-02	0.133234E-02
Wmax.	25.000	1.667				0.123673E-01
Wmin.	50.000	3.000				0.133234E-02
TassMax.	25.000	1.667			0.123673E-01	
TassMin.	50.000	3.000			0.133234E-02	
PressMax.	25.000	3.000		488.320		
PressMin.	48.500	2.500		7.158		

On obtient :

- Moment M_x maximal : 1892 kN.m/ml
- Tassement maximal : 1,24 cm
- Réaction du sol au centre : 120 kPa environ

Nota : la réaction devrait être relevée au centre de la semelle, c'est-à-dire en Y = 1,5 m. Mais il aurait fallu pour cela définir une discrétisation en Y de 4 par exemple, au lieu de 3, pour la zone centrale de 1 m de la semelle. Du fait de cette discrétisation de 3, nous n'avons accès aux résultats qu'en Y = 1,33 m ou Y = 1,67 m (réaction de 119,9 kPa en X = 25 m et pour ces valeurs de Y). Mais nous avons vu précédemment que la réaction est quasiment constante dans cette zone de la semelle, et on peut donc se contenter de cette approximation.

Enregistrer votre projet, puis l'enregistrer à nouveau sous un nom différent avant de passer à l'étape 2.

*Edition juillet 2013 - **Copyright © Foxta v3 - 2011***

I.4.6.3. Etape 2 : Semelle chargée localement – Définition du coefficient de réaction équivalent

On se propose à présent, à partir des résultats de l'étape précédente, de définir le coefficient de réaction équivalent en se calant par rapport à l'amplitude du moment M_x relevé précédemment.

Le calcul qu'on se propose ainsi de mener est un calcul de type "Plaque sur appuis continus élastiques". Une première estimation du coefficient de réaction du sol apparent peut être faite en faisant le rapport :

$$k_{z0} = q / s$$

Où s désigne le tassement maximal de la semelle calculé dans l'exemple précédent (1,24 cm), et q la réaction du sol au centre la semelle (120 kPa) : k_{z0}= 9677 kPa/m.

Nous allons donc reprendre les données de l'exemple précédent, avec les modifications décrites ci-dessous.

I.4.6.3.1. Onglet "Couches"

Il s'agit à présent d'un calcul de type "Plaque sur appuis continus élastiques", où le sol est introduit sous forme de ressorts équivalents et non plus comme massif élastique.

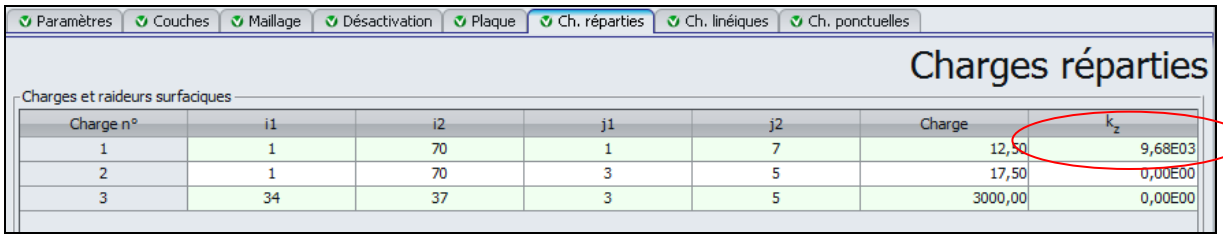
- Supprimer la couche de sol.

I.4.6.3.2. Onglet "Chargement réparti"

En plus du chargement déjà prédéfini dans l'exemple précédent (poids propre de la semelle et chargement de 3000 kPa), il convient à présent d'introduire le coefficient de réaction du sol, sous la forme d'une raideur verticale répartie de 9677 kPa/m.

On affecte une raideur dans le groupe couvrant la totalité de la plaque :

- k_z = 9677 kPa/m.



Charge n°	i1	i2	j1	j2	Charge	k_z
1	1	70	1	7	12,50	9,68E03
2	1	70	3	5	17,50	0,00E00
3	34	37	3	5	3000,00	0,00E00

I.4.6.3.3. Exploitation des résultats

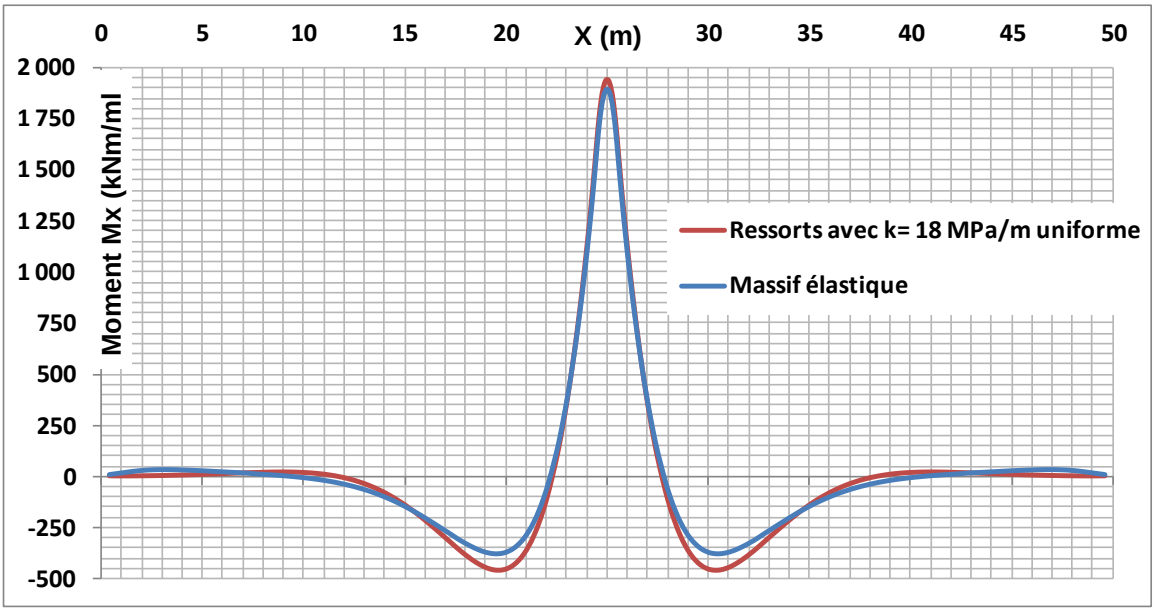
On s'intéresse uniquement à la valeur maximale du moment M_x, qu'on vise à caler par rapport à la valeur issue du calcul d'origine (1892 kN.m/ml). Cette valeur peut être relevée directement dans le fichier des résultats par exemple. On trouve : $M_{x,max}$ = 2308 kN.m/ml.

Cette valeur est supérieure à celle visée. Afin d'abaisser le moment maximal dans la semelle, il convient d'augmenter le coefficient de réaction du sol support. On propose donc de l'augmenter en première itération dans le rapport de 1,2 (≈ 2308/1892) et donc de définir cette fois $k_z \approx$ 12000 kPa/m.

Le tableau ci-dessous récapitule les itérations successives effectuées permettant de converger vers la valeur cible pour M_x de 1892 kN.m/ml :

Itération	Coefficient de réaction kz (kPa/m)	Moment maximal obtenu (kN.m/ml)
1	9677	2308
2	12000	2173
3	14000	2081
4	16000	2004
5	18000	1938

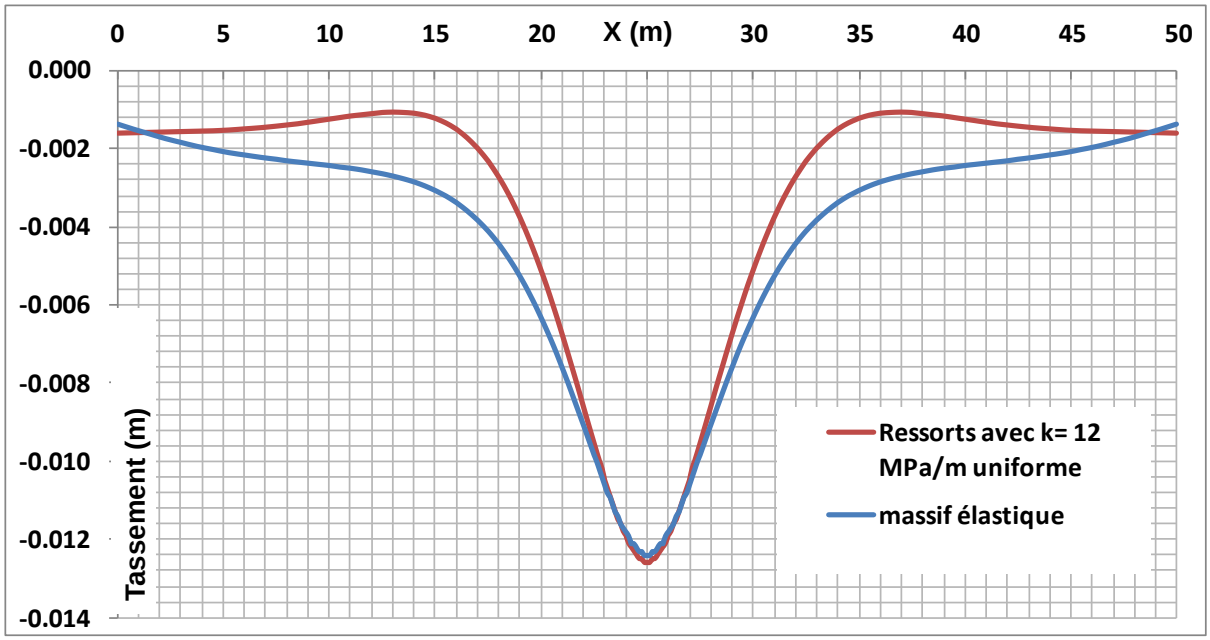
La figure ci-dessous illustre l'allure du moment obtenu avec kz = 18 MPa/m comparée à celle de référence :



Ainsi, un coefficient de 18000 kPa/m apparaît le plus représentatif du massif support en termes de sollicitations maximales engendrées dans la poutre centrale.

Il est à noter que le coefficient de réaction obtenu n'assurera pas forcément une cohérence en termes de déformations. Celle-ci nécessitera un autre calage spécifique, en visant cette fois-ci la valeur de tassement maximal : cela conduirait à un coefficient de réaction équivalent de 12 MPa/m comme le montre la figure suivante.

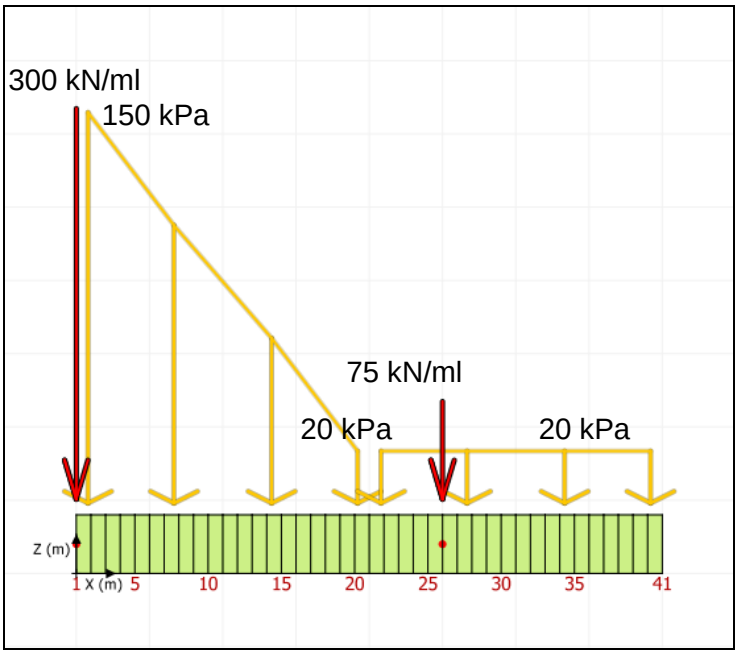
*Edition juillet 2013 - **Copyright © Foxta v3 - 2011***


0
5
10
15
20
X (m)
30
35
40
45
50
0.000
-0.002
-0.004
-0.006
-0.008
-0.010
-0.012
-0.014
Tassement (m)
Ressorts avec k= 12 MPa/m uniforme
massif élastique

I.4.7. Exemple 7 : Calcul d'une fondation en déformations planes

Cet exemple illustre le calcul d'une semelle de 80 cm d épaisseur, de 8 m de largeur et de grande longueur L. La flexion de la semelle est supposée négligée selon L, ce qui permet un travail en déformations planes (calcul 2D)

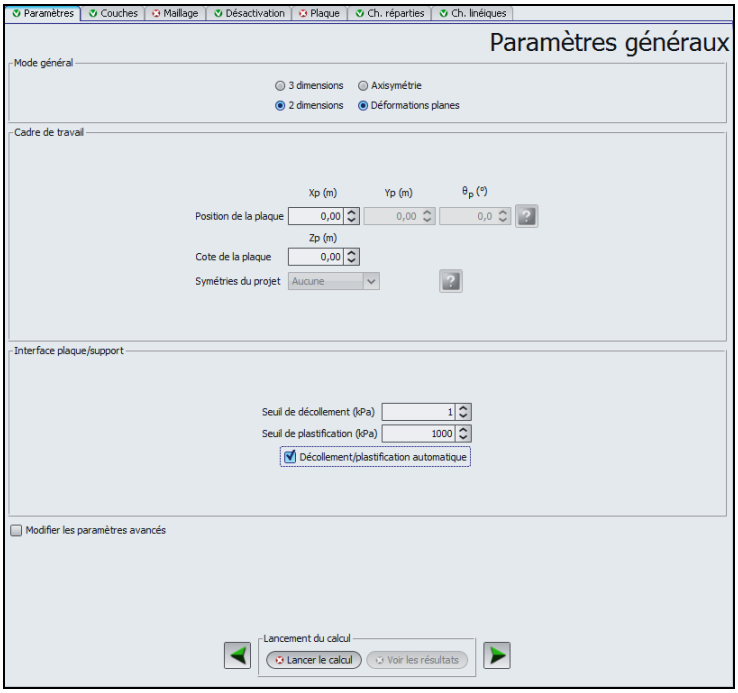
Les conditions de chargement sont illustrées sur la figure ci-dessous.



Créer un nouveau projet Foxta v3 et sélectionner le module TASPLAQ.

I.4.7.1. Onglet "Paramètres"

Compléter les données conformément à l'écran ci-dessous.

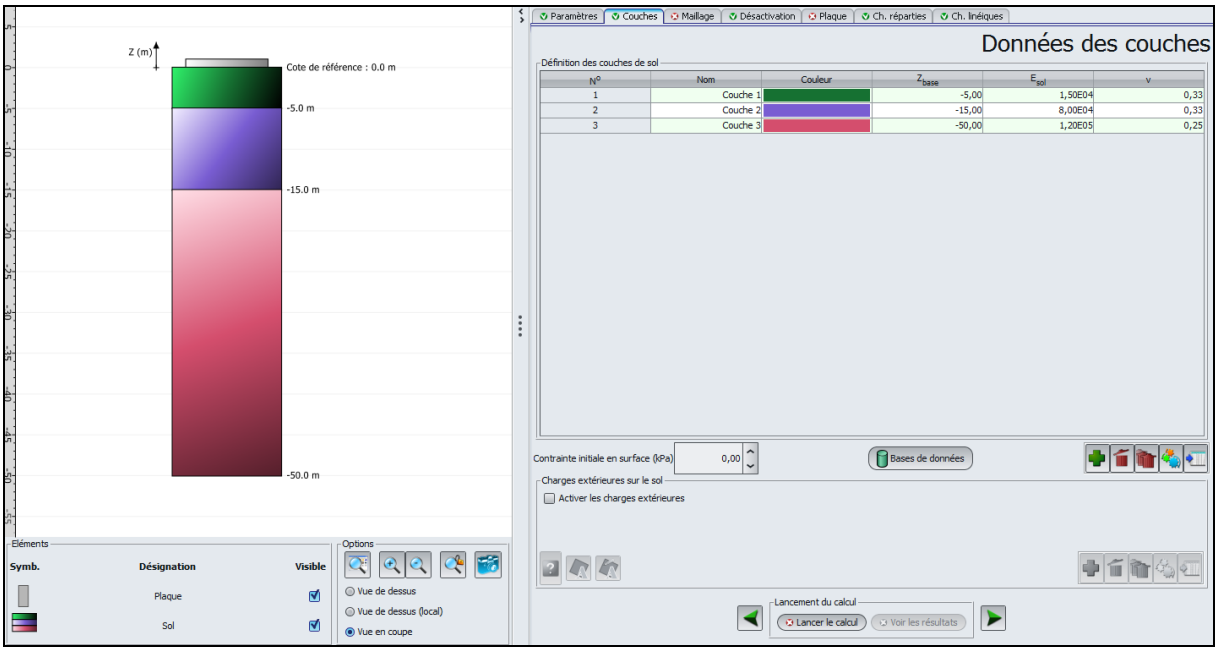


A noter que pour cet exemple, on coche la case "Décollement/plastification automatique", avec les valeurs de seuil suivantes :

- Décollement : 1 kPa (i.e. décollement à partir d'une contrainte de **traction** de 1 kPa)
- Plastification : 1000 kPa (i.e. plafonnement de la réaction du sol à 1000 kPa)

I.4.7.2. Onglet "Couches"

Compléter les données conformément à l'écran et au tableau ci-dessous.

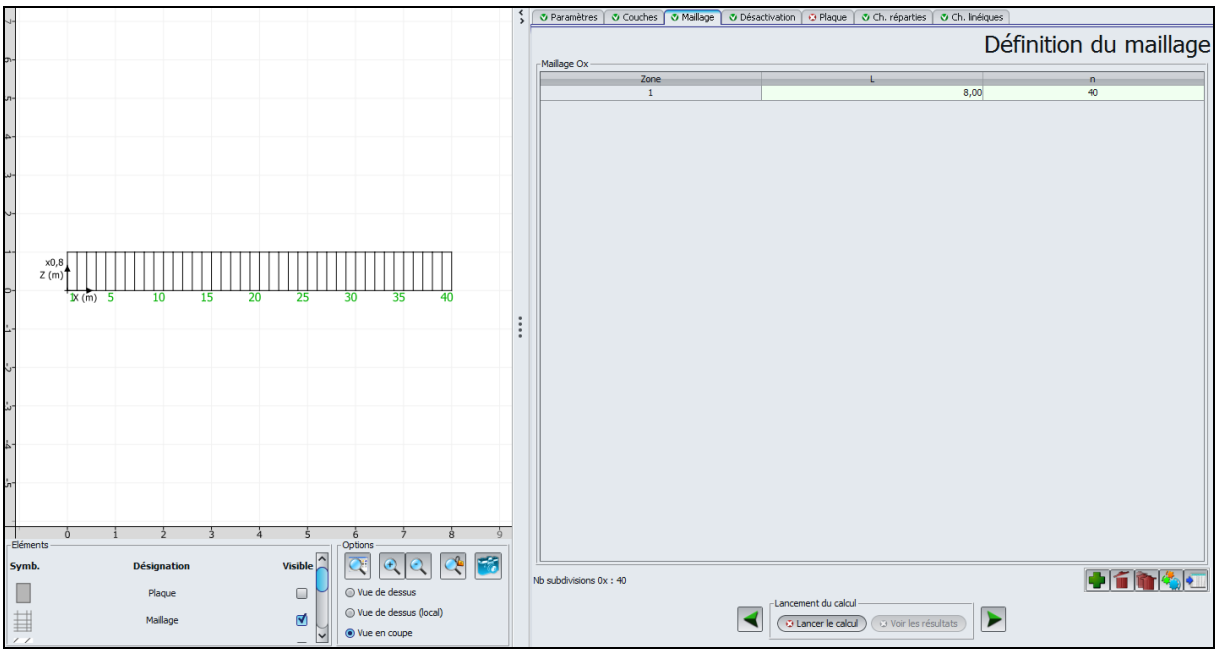


Nom	Z_{base} (m)	E_{sol} (kPa)	ν
Couche1	-5,0	1,50E04	0,33
Couche 2	-15,0	8,00E04	0,33
Couche 3	-50,0	1,20E05	0,25

I.4.7.3. Onglet "Maillage"

On découpe ici la poutre de 8 m de longueur en 40 éléments réguliers de 20 cm de longueur.

Zone	L (m)	N
1	8,0	40

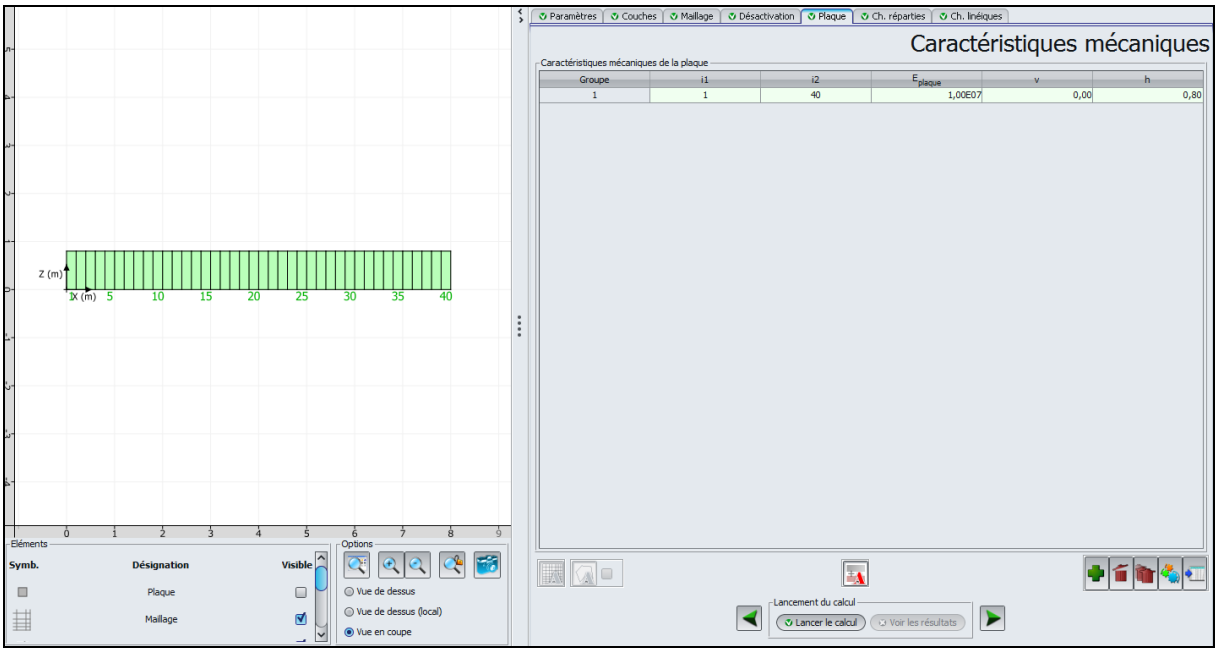


I.4.7.4. Onglet "Désactivation"

Dans cet exemple, il n'y a pas d'élément à désactiver, la plaque représentative de la plaque est pleine et continue. Le cadre "Désactivation des éléments" est laissé vide.

I.4.7.5. Onglet "Plaque"

Dans cet exemple, la plaque est homogène, avec une épaisseur de 0,8 m. Il suffit donc de définir une seule zone couvrant toute la plaque soit i1 = 1 à i2 = 40 selon Ox.

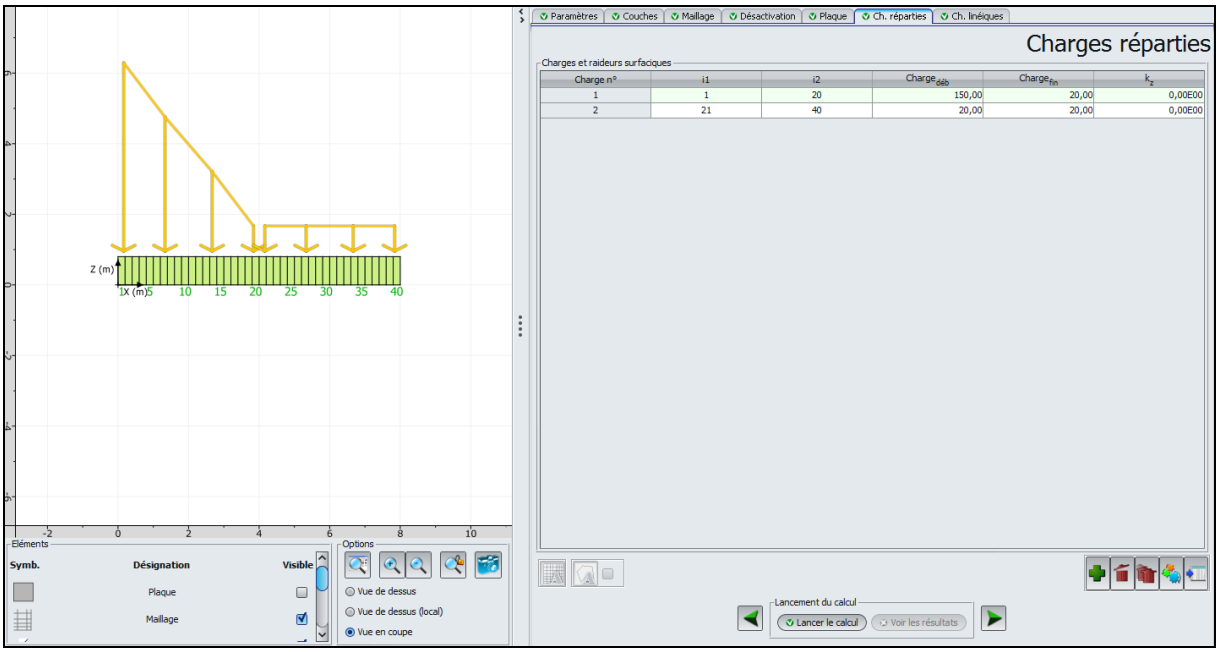


Groupe	i1	i2	E_{plaque} (kPa)	ν	h (m)
1	1	40	1,00E+07	0,00	0,80

I.4.7.6. Onglet "Charges Réparties"

Deux zones de chargement sont à définir :

- une première charge trapézoïdale sur la moitié "gauche" de la plaque (de 150 kPa en i1 = 1 à 20 kPa en i2 = 20) ;
- puis une seconde charge uniforme de 20 kPa sur l'autre moitié de la plaque (de i1 = 21 à i2 = 40).



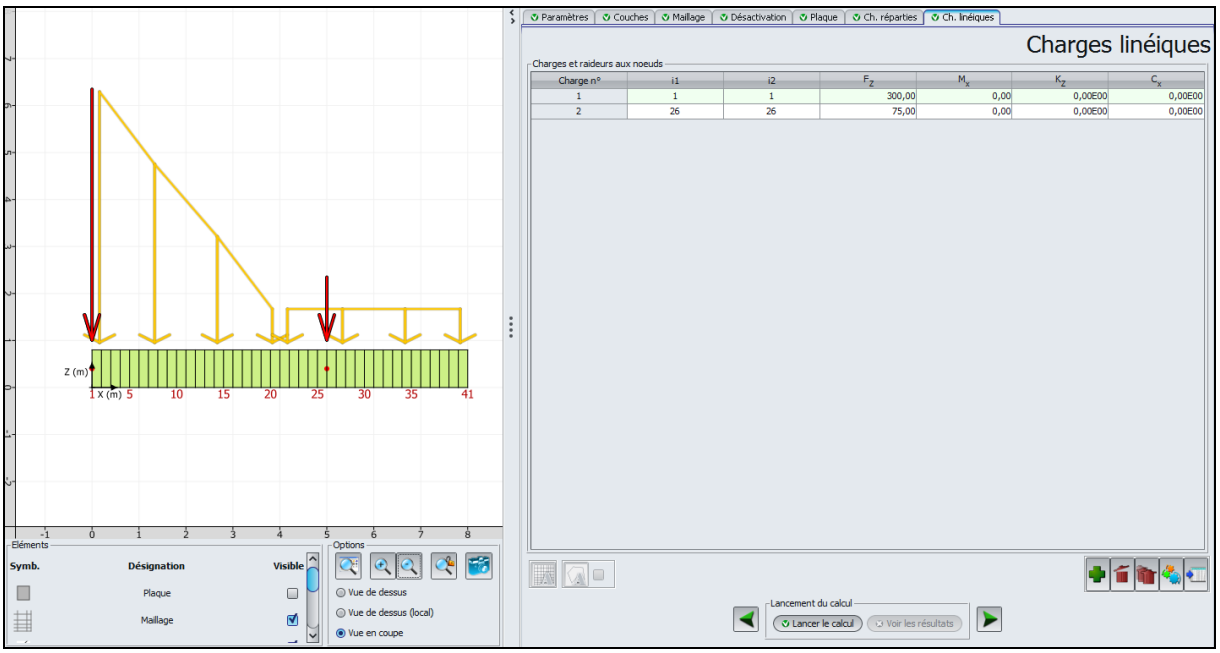
Groupe	i1	i2	$Charge_{déb}$ (kPa)	$Charge_{fin}$ (kPa)	k_z (kPa/m)
1	1	20	150	20	0
2	21	40	20	20	0

I.4.7.7. Onglet "Charges linéiques"

Deux charges linéiques sont à définir pour cet exemple :

- Une charge F_z de 300 kN/ml au nœud n° 1 du maillage ;
- Une charge F_z de 75 kN/ml au nœud n° 26 du maillage.

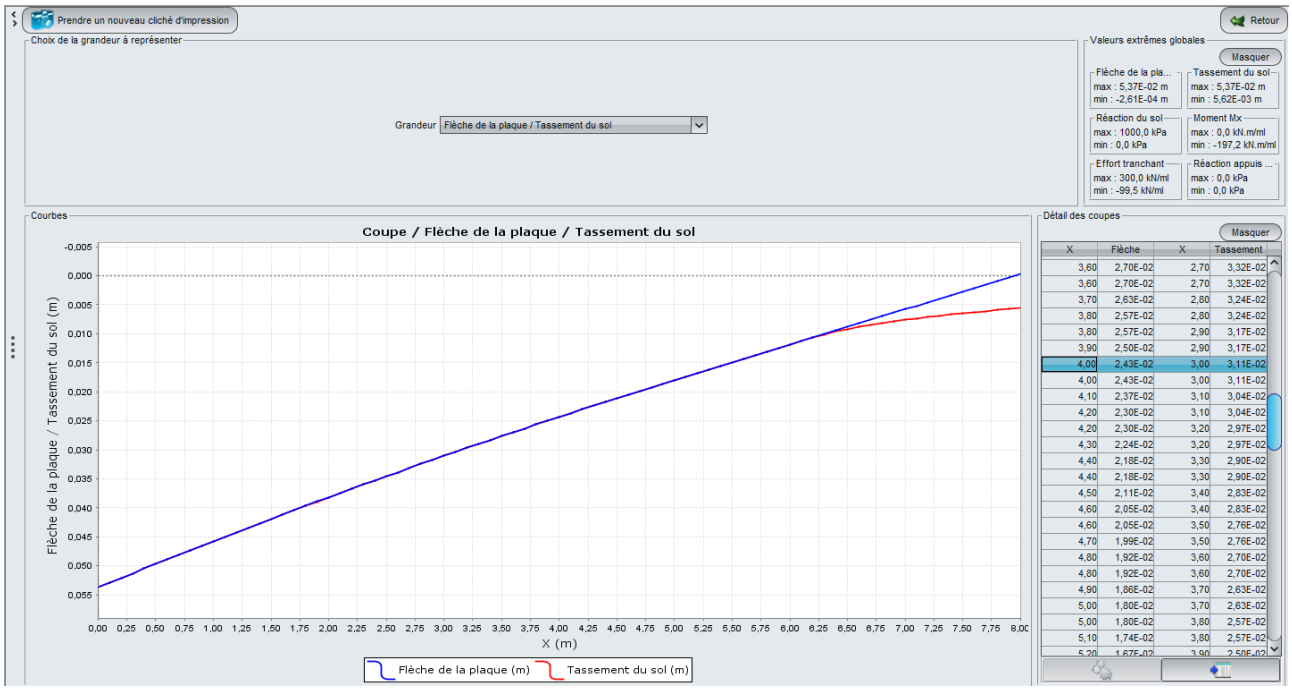
Charge n°	i1	i2	F_Z (kN/ml)	M_X (kN.m/ml)	K_Z (kN/m/ml)	C_X (kN.m/rad/ml)
1	1	1	300	0	0	0
2	26	26	75	0	0	0



I.4.7.8. Résultats graphiques - Coupes

Flèche de la plaque / Tassement du sol

On observe un soulèvement de l'extrémité droite de la semelle du fait du caractère dissymétrique du chargement qui lui est appliqué.



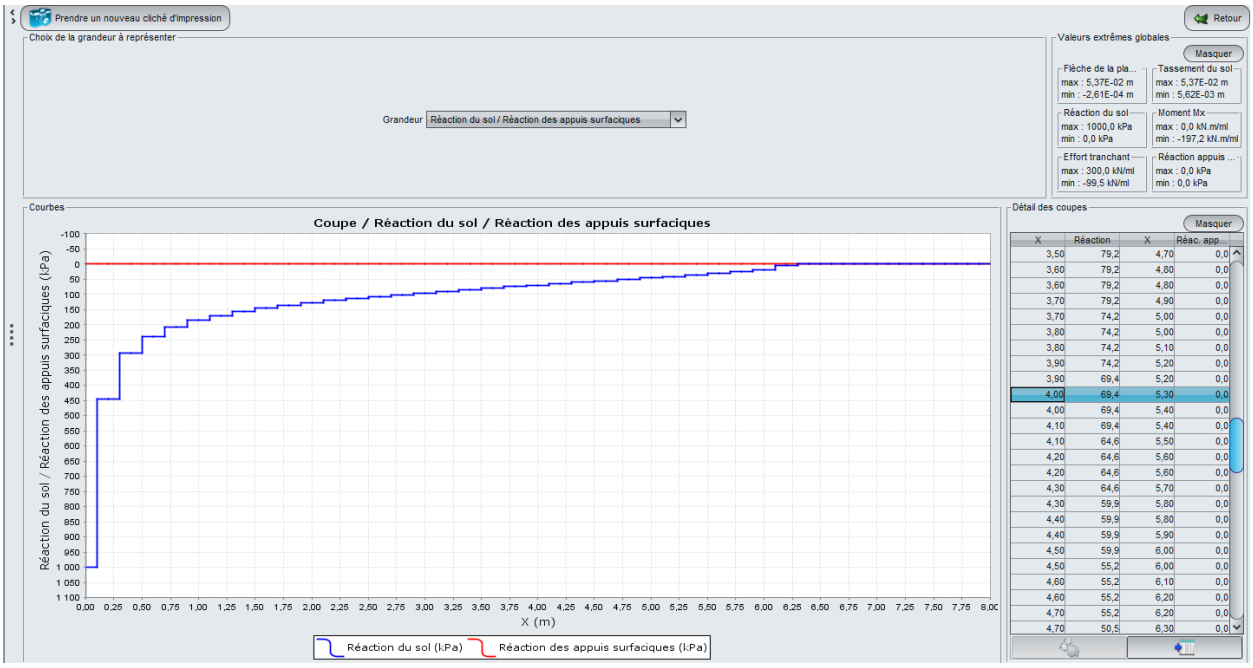
*Edition juillet 2013 - **Copyright © Foxta v3 - 2011***

Réaction du sol

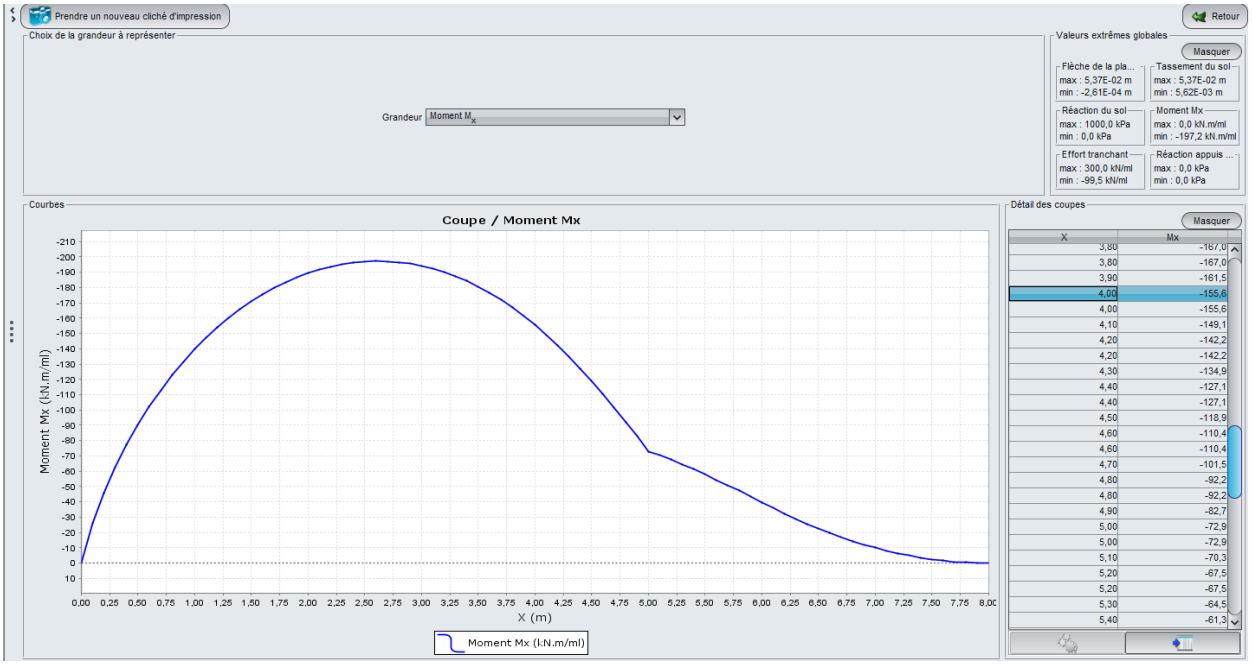
Valeurs extrêmes globales :

- Max : 1000 kPa
- Min : 0 kPa

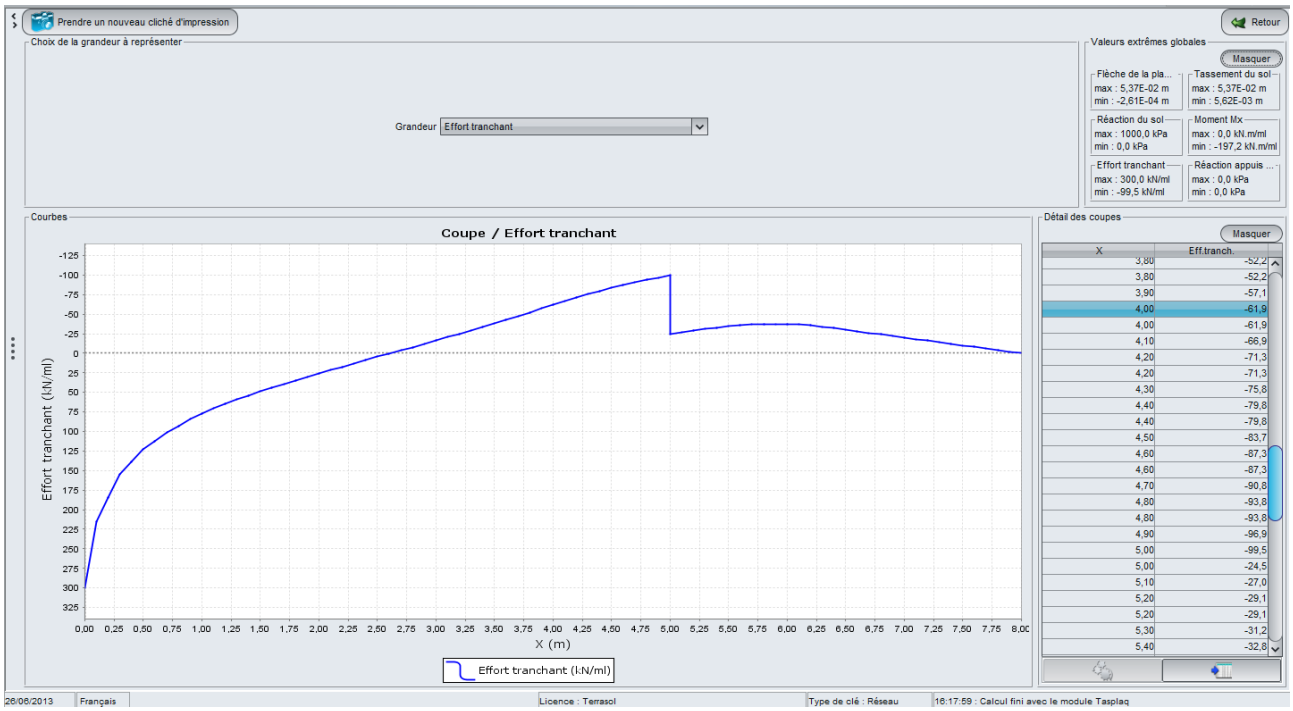
La réaction maximale est obtenue à l'extrémité gauche de la semelle (du côté où le chargement est le plus important). Cette valeur maximale est de 1000 kPa, valeur maximale fixée par hypothèse pour ce calcul : il y a donc plastification (qui a été gérée automatiquement par le logiciel). La zone de décollement peut également être observée ici comme étant la zone où la réaction du sol est nulle, soit graphiquement à partir de X = 6,50 m.



Moment M_x



Effort tranchant



L'effort tranchant maximal est obtenu en X = 0 m (extrémité gauche de la semelle) : la valeur de 300 kN/ml est égale à la valeur de la charge linéique appliquée en X = 0 m.

L'effort tranchant minimal est obtenu en X = 5 m : on constate à cette position un saut d'effort tranchant de 75 kN/ml, égal à la valeur de la charge linéique appliquée en X = 5 m.

*Edition juillet 2013 - **Copyright © Foxta v3 - 2011***